

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra výrobních strojů a konstruování**

**Koncový úsek spalínového traktu průmyslové pece s  
kondenzačním výměníkem**

End section of Waste Gases Tract for industrial Furnace with  
Condensing Exchanger

.

Student:

Bc. Petr Čureček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Noga, CSc.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Čureček**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení  
Téma: **Koncový úsek spalinového traktu průmyslové pece s kondenzačním výměníkem**  
**End section of Waste Gases Tract for Industrial Furnace with Condensing Exchanger**

Zásady pro vypracování:

Při zpracovávání návrhu zařízení vycházejte z dostupných informací o provozu pecí pro tepelné zpracování materiálů. Konkretizaci proveďte pro pec o instalovaném výkonu 4MW, vytápěnou zemním plynem. V rámci řešení specifikujte možnosti měření, řízení a archivace průběhu veličin ovlivňujících celý teplo-směnný proces.

Při návrhu zařízení využívejte 3-D modelování a vizualizace, při řešení teplotních a napětových polí v konstrukčních prvcích dostupný SW MKP. Pozornost věnujte návrhu teplo-směnné sekce zařízení, včetně možného využití principu tepelných trubíc.

Proveďte:

1. Technickou zprávu s popisem funkce navrženého zařízení a potřebnými výpočty ve členění – seznam požadavků, funkční, orgánová a stavební struktura.
2. Projekční návrh zařízení ve 3-D modelu.
3. Výrobní výkresovou dokumentaci teplo-směnné sekce zařízení.

min. 40 stran textu včetně max. 5-ti stran výtahu z Diplomového projektu – mimo přílohy, rozsah přílohy výkresové části min. 2 A0

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 19 s.

HUBKA, V. *Konstrukční nauka*. Zürich: Heurista, 1995. 105s. ISBN 80-90 1135-0-8.

LITERÁRNÍ REŠERŠE – zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Noga, CSc.**

Datum zadání: 11.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis diplomanta

Prohlašuji, že

- jsem byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- было сжеднано, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было сжеднано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy ( až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

ČUREČEK, P. Koncový úsek spalínového traktu průmyslové pece s kondenzačním výměníkem. Ostrava: katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2010, 60s. Diplomová práce, vedoucí Noga, Z.

Diplomová práce se zabývá koncovým úsekem spalínového traktu průmyslové pece a možného dalšího využití odpadního tepla. V úvodu je zpracována literární rešerše tepelných trub. Dále je zhotoven požadavkový list, funkční, orgánová a stavební struktura spalínového traktu. Následně je provedeno spalování zemního plynu. Z důvodu zchlazení spalin až na teplotu pod rosný bod, je navržen ventilátor pro odvod suchých spalin do ovzduší. Výsledkem bude zmenšení hydraulického průměru kouřovodu a komínu, a také menší výška komínu. V závěru je přiložen model ve 3D a zhodnocení inovačního řešení. V příloze jsou uvedeny příslušné výkresy.

## **ANNOTATION OF THESIS**

ČUREČEK, P. End section of Waste Gases Tract for industrial Furnace with Condensing Exchanger. Ostrava: Department of Industrial Machines and Design Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, 60 p. Thesis, head: Noga, Z.

Master thesis is dealing with end section of waste gases tract industrial furnace and possible next heat recovery. In introduction is processed literary background research of heat pipes. Next is made to order wish list, functional, organ and building structure waste gases of tract. Subsequently is effected combustion of natural gas. On the ground of cool - off flue gas excepting temperature below dew - point, is designed ventilator for conscription of dry flue gas to the atmosphere. Result will reducing of hydraulic diameter of smoke - flue and chimney, as well as smaller altitude of chimney. At the close is enclosed mock - up in 3D and estimation innovative of solving. Enclosed are mentioned appropriate drawings

## Obsah:

Seznam použitých symbolů.....	9
1. Úvod.....	13
2. Rešerše Heat pipe .....	14
2.1 Konstrukce.....	15
2.2 Oblasti použití .....	16
2.3 Hlavní výhody heat pipe.....	18
3. Současný stav spalínového traktu .....	18
4. Inovační návrh spalínového traktu .....	19
5. Požadavkový list .....	20
5.1 Funkční požadavky:.....	20
5.2 Funkční struktura.....	21
5.3 Morfologická matice .....	22
5.4 Orgánová struktura .....	23
5.5 Stavební struktura.....	24
6. Spalování zemního plynu.....	25
6.1 Složení vlhkých spalín.....	28
6.2 Výpočet měrné entalpie a výhřevnosti spalín.....	30
6.3 Tepelné vlastnosti spalín .....	31
7. Spotřeba zemního plynu a spalovacího vzduchu .....	38
7.1 Množství odcházejících vlhkých spalín.....	39
7.2 Množství odcházejících suchých spalín .....	39
8. Průřez kouřovodů a komínu .....	39
8.1 Průměr kouřovodu před výměníkem ( $t=100^{\circ}$ ): .....	41
8.2 Průměr kouřovodu za výměníkem ( $t=50^{\circ}$ ): .....	42
9. Řešení daných výměníků .....	42
9.1 Množství zkondenzované vody z výměníku .....	43
9.2 Odvod kondenzátu z kondenzačního výměníku.....	44
10. Návrh ventilátoru .....	46
11. Návrh komínu.....	47
11.1 Základní rozdělení komínů.....	48

11.2 Volba komínu .....	48
11.3 Volba materiálu komínu .....	49
11.4 Výška komínu.....	49
11.5 Tlakové ztráty kouřovodu a komínu.....	50
12. Využití tepla kondenzačního výměníku.....	53
13. Průběh teploty a tlaku od výměníku HP po ústí komínu .....	54
13.1 Možnost měření, řízení a archivace průběhu veličin.....	55
14. 3D model navrhovaného zařízení.....	56
15. Závěr .....	58
16. Použité zdroje.....	59
17. Seznam příloh.....	60



## Seznam použitých symbolů

$D$	Průměr kouřovodu při 0°C	[ m ]
$D_{t=50}$	Průměr kouřovodu za výměníkem	[ m ]
$D_{t=100}$	Průměr kouřovodu před výměníkem t=100°C	[ m ]
$H$	Výška komínu	[ m ]
$H_i$	Výhřevnost zemního plynu	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
$L$	Délka kouřovodu	[ m ]
$L_k$	Kondenzační teplo	[J.kg <sup>-1</sup> ]
$M_{n=1,05}$	Molární hmotnost spalin n=1,05	[Kg.mol <sup>-1</sup> ]
$P_1$	Tlak před výměníkem	[ Pa ]
$P_2$	Tlak za výměníkem HP	[ Pa ]
$P_v$	Výkon ventilátoru	[ kW ]
$P_p$	Příkon pece	[ W ]
$Q_v$	Tepelný výkon výměníku	[ W ]
$S$	Průřez kouřovodu při 0°C	[ m <sup>2</sup> ]
$S_{t=50}$	Průřez kouřovodu za výměníkem t=50°C	[ m <sup>2</sup> ]
$S_{t=100}$	Průřez kouřovodu před výměníkem t=100°C	[ m <sup>2</sup> ]
$T_o$	Teplota při normálních podmínkách	[ K ]
$T_2$	Teplota před výměníkem	[ K ]
$T_3$	Teplota za výměníkem HP	[ K ]
$V_{vzt}$	Teoretické množství vzduchu při spalování n=1	[m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]
$V_{vzds}$	Skutečné množství vzduchu při spalování n=1,05	[m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]
$V_{N_2}$	Množství dusíku ve vzduchu n=1	[m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]

$V_{N_2, n=1,05}$	Množství dusíku ve vzduchu $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{N_{CSP}}$	Celkové množství dusíku ve spalínách	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{N_{CSP}}$	Teoretické množství dusíku ve spalínách	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{O_2}$	Množství kyslíku ve spalínách	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{H_2O}$	Teor. množství vody vázané na teor. množství $H_2O$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{H_2O, n=1}$	Obsah vody ve vlhkých spalínách pro $n=1$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{H_2O_{teor}}$	Teoretická spotřeba vody	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{VZ\ p\check{r}, n=1,05}$	Přebytek vzduchu při $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{O_2\ p\check{r}, n=1,05}$	Přebytek kyslíku ve vzduchu $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{N_2\ p\check{r}, n=1,05}$	Přebytek dusíku ve vzduchu $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{H_2O\ p\check{r}, n=1,05}$	Přebytek vody ve vzduchu $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{H_2O, n=1,05}$	Množství vody ve vlhkých spalínách $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{O_2, n=1,05}$	Množství kyslíku ve spalínách $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_n$	Hmotnost páry $H_2O$	$[m^{-3}]$
$V_{ph}$	Spotřeba zemního plynu z příkonu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$V_{SP, n = 1,05}$	Celkové množství vlhkých spalin $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{vh}$	Spotřeba spalovacího vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$V_{sh}$	Množství odcházejících vlhkých spalin	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$V_{Such, n=1,05}$	Objem suchých spalin $n=1,05$	$[m^3 / m_{pl}^3]$
$V_{spsuch}$	Množství odcházejících suchých spalin	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$V_{t=100}$	Množství odcházejících spalin před výměníkem	$[m^3 \cdot h^{-1}]$

$V_{t=50}$	Množství odcházejících suchých spalín z výměníku	[ m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ]
$c_{p,n=1}$	Střední měrná tepelná kapacita n=1	[KJ.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$i_{n=1}$	Měrná entalpie spalín	[kJ.m <sup>-3</sup> ]
$k_t$	Součinitel přisávání vzduchu do kouřovodu	[ - ]
$m_{sp}$	Množství suchých spalín	[kg.s <sup>-1</sup> ]
$m_{H2O}$	Množství skondenzované vody	[kg.s <sup>-1</sup> ]
$n$	Přebytek vzduchu	[ - ]
$p_o$	Atmosférický tlak	[ Pa ]
$p_b$	Barometrický tlak	[ Pa ]
$p'_w$	Tlak nasycené vodní páry ve spalínách	[ Pa ]
$p_s$	Parciální tlak vodní páry mezi sytosti	[ Pa ]
$t_{2sp}$	Teplota spalín v ústí komínu	[°C]
$t_{1sp}$	Teplota spalín v patě komínu	[°C]
$t^s_{sp}$	Střední teplota spalín v komínu	[°C]
$w_{spD}$	Doporučená rychlost spalín v kouřovodu	[m.s <sup>-1</sup> ]
$w^2_{sp}$	Střední rychlost spalín v kouřovodu	[m.s <sup>-1</sup> ]
$\Phi$	Relativní vlhkost plynu	[ - ]
$\lambda_o$	Součinitel tepelné vodivosti	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$\lambda$	Součinitel ztrát třením spalín o stěny kouřovodů	[ - ]
$\eta$	Dynamická viskozita spalín	[ Pa.s ]
$\rho_{spn=1,05}$	Hustota spalín zemního plynu n=1,05	[Kg.m <sup>-3</sup> ]
$\rho^s_{sp}$	Střední hustota spalín v kouřovodu	[Kg.m <sup>-3</sup> ]
$\Delta T_{sp}$	Teplotní spád spalín	[°C]
$\Delta p$	Přetlak nebo podtlak spalín	[ Pa ]
$\Delta p_t$	Tlaková ztráta potřebná k překonání	[ Pa ]

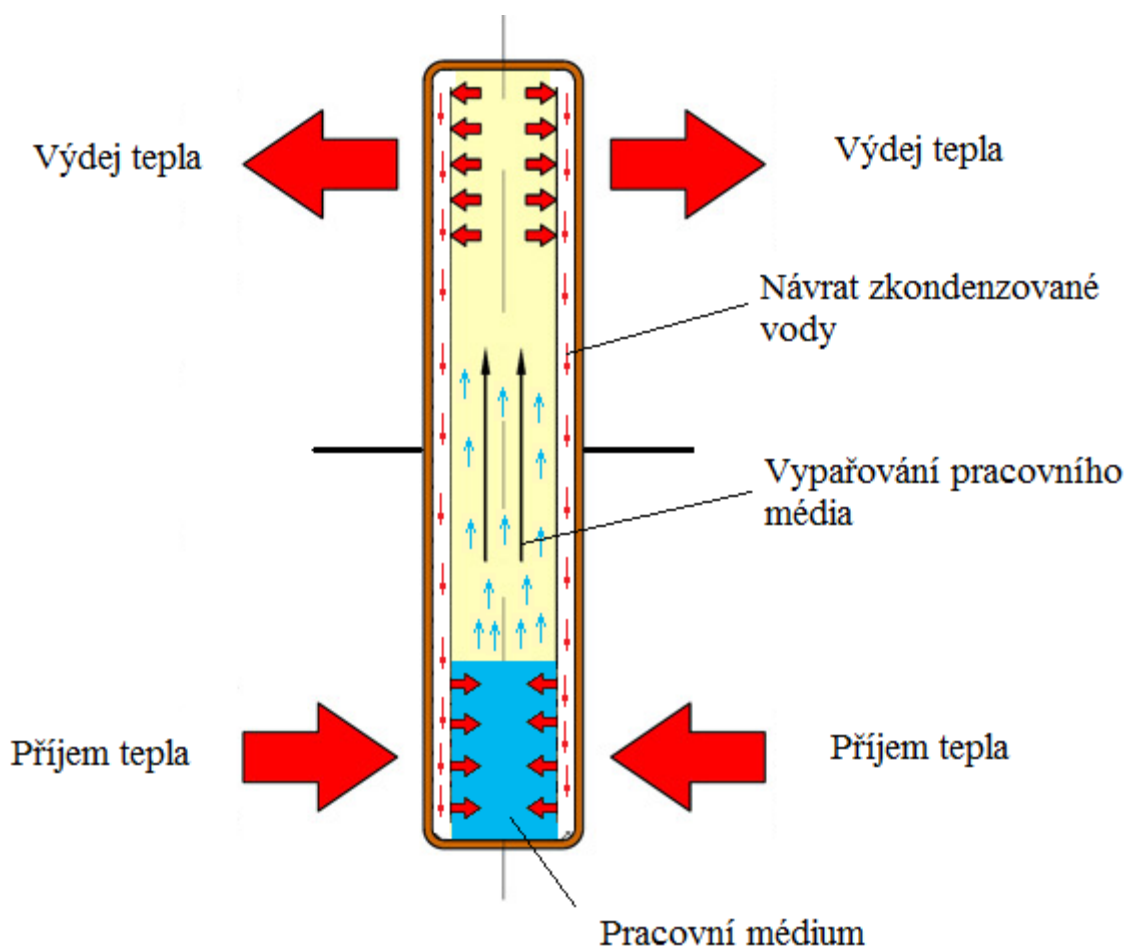
$\Delta p_{zo}$	Tlaková ztráta v kouřovodu	[ Pa ]
$\Delta p_{zk}$	Tlaková ztráta v komínu	[ Pa ]
$\Delta t$	Pokles teploty v kouřovodu	[°C.m <sup>-1</sup> ]
$\xi_{mk}$	Součinitelé místních odporů v kouřovodu	[-]
$\eta_{ven}$	Účinnost ventilátoru	[ - ]

## **1. Úvod**

V dnešní době se stále zvyšuje cena energií a tím následně cena služeb. Teplo patří mezi nejvýznamnější položku v celostátní energetické bilanci. Zásobování teplem požaduje velké investiční a provozní náklady a má vliv na okolí a na životním prostředí. Nízko potenciální teplo je dnes často vypouštěno do atmosféry bez možnosti dalšího využití. Rozsah vypouštěného nízko potenciálního tepla naznačuje, že je možnost dosáhnout významnějších úspor energetických zdrojů. Má diplomová práce se zabývá právě využití odpadního tepla ze spalín a přeměnou tohoto nevyužitého tepla v další využitelnou složku energie.

## 2. Rešerše Heat pipe

Tepelné trubice (anglicky Heat pipe ) slouží k přesunu tepla z jednoho místa na chladnější místo za pomoci par pracovní látky. Jedná se o hermetický uzavřený válec, který je naplněn tekutinou. Jeden konec trubice se zahřívá ohříváním médiem a to odvádí teplo až na konec trubice, kde se teplo odevzdá chladnému médiu (chladič, voda..). Po dosažení teploty, na kterou je tepelná trubice nastavena se začne pracovní látka odpařovat a v místě, kde odevzdává teplo začne kondenzovat. Zkondenzovaná kapalina se vrací po stěnách tepelné trubice do spodní části, kde celý proces začíná nanovo - viz obr.1.



Obr. 1 Princip HP

## 2.1 Konstrukce

Jedná se o uzavřenou trubici, kde materiál může být: Cu, nerez, keramika, sklo.

Pracovní látka může být: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, voda viz tab. 1

**Konstrukčně se heat pipe dělí do:**

- způsobu dopravy kondenzátu pomocí kapilárních sil zpět k výparníku
- podle použité pracovní látky
- podle toho zda jsou regulované nebo neregulované

**Podle dopravy kondenzátu:**

- gravitační (U gravitačních tepelných trubic stéká kondenzát po stěnách zpět do výparníku vlivem zemské tíže)
- kapilární (obsahují uvnitř navíc kapilární soustavu, kterou proudí kondenzát vlivem kapilárního tlaku a jejich funkce je téměř nezávislá na orientaci v prostoru)

**Dělení HP dle rozsahu teplot:**

- kryogenní HP= použití v rozsahu teplot -260°C do -120°C
- nízkoteplotní HP= od -120°C do 500°C
- vysokoteplotní HP= od 500°C do 3000°C

Tab. 1 - Tabulka pracovních látek a rozsahu teplot v HP [ 9 ]

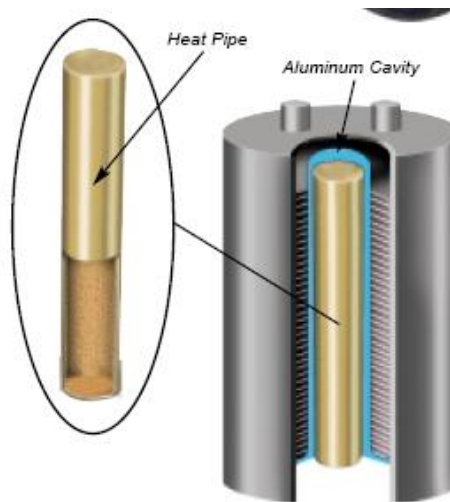
Pracovní látka	Rozsahy operačních teplot [°C]	Vlastnosti při atmosférickém tlaku Bod Varu [°C]	*Transportní činitel kapaliny	Vhodný konstrukční materiál
Dusík	-200 ÷ -170	-196	$9 \times 10^6$	Nerezová ocel
Čpavek	-70 ÷ 50	-33	$1 \times 10^8$	Nerezová ocel, nikl, hliník
Freon 12	-60 ÷ 40	-30	$1 \times 10^7$	Nerezová ocel, měď
Methanol	-30 ÷ 100	65	$5 \times 10^5$	Měď
Voda	10 ÷ 200	100	$5 \times 10^8$	Měď, Nikl
Rtuť	190 ÷ 500	356	$9 \times 10^9$	Nerezová ocel
Draslík	400 ÷ 800	760	$5 \times 10^8$	Nerezová ocel
Sodík	500 ÷ 900	883	$2 \times 10^9$	Nerezová ocel
Lithium	900 ÷ 1500	1330	$8 \times 10^9$	Tantal, TZM

\*Čím vyšší je transportní činitel, tím lepší je cirkulace v heat pipe.

## 2.2 Oblasti použití

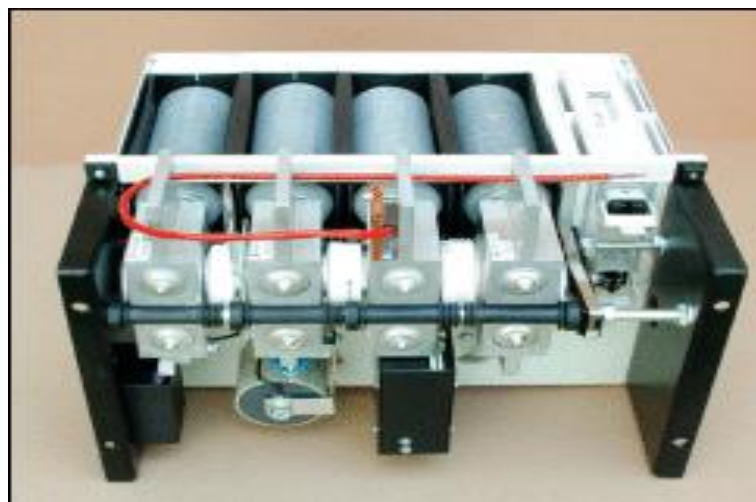
V dnešní době se heat pipe používají v mnoha technických oborech, jako například: chlazení výkonných el. motorů, plynových turbín, rekuperace odpadního tepla, chlazení výkonové elektroniky.

### Chlazení elektroniky:



Obr.2 Chlazení kondenzátoru tepelnými trubicemi [ 9 ]

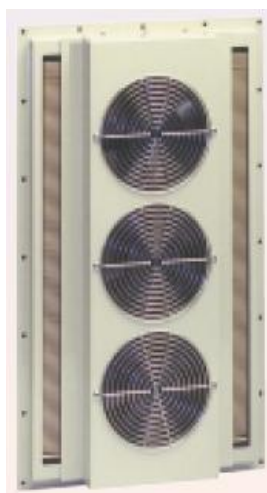
### Chlazení výkonových měničů, jističů a spínačů:



Obr.3 Pulzní měnič s chlazením tepelnými trubicemi [ 9 ]



### **Rekuperace odpadního tepla:**



Obr.4 Rekuperační jednotka Thermacore [ 9 ]

### **Použití Tepelných trubic v solárním zařízení:**



Obr.5 Kolektor s tepelnými trubicemi [ 9 ]



Obr.6 Sběrač kolektoru [ 9 ]

### **Rozmrazování silnic a mostů:**



Obr.7 Most Vasco da Gama, Lisabon [ 9 ]

## 2.3 Hlavní výhody heat pipe

- vysoká tepelná vodivost (až 1000 x větší než u měděné tyče )
- žádné nepohyblivé části ( téměř neomezená životnost )
- samoregulační funkce
- efektivní přenos nízko potenciálového tepla
- jednoduchá konstrukce
- spolehlivost, životnost, odolnost, snadná údržba
- nízká cena

## 3. Současný stav spalínového traktu

V současné době je za pecí umístěn rekuperátor využívající k ohřevu spalovacího vzduchu, přiváděného do hořáků. Ten předehřeje vzduch až na 400°C. Dále je za rekuperátorem umístěn výměník na předehřev teplé užitkové vody, který zchladí teplotu spalin na 300 °C. Tyto spaliny se dopraví kouřovodem až do komína, odkud jsou odváděny do ovzduší. Tento komín má délku 50m a průměr 2m. Spaliny se odvádí pomocí vztlaku.



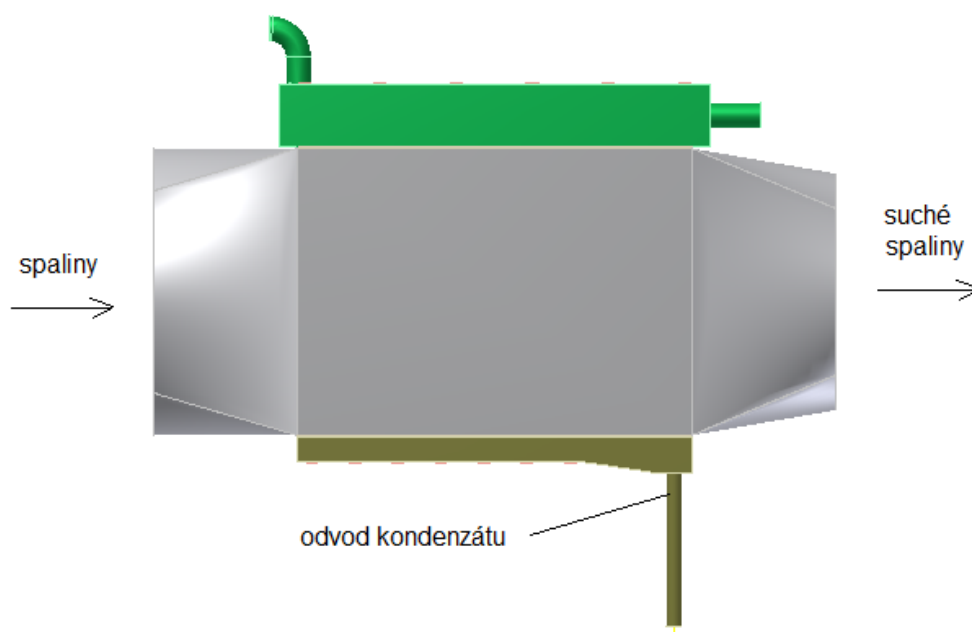
Obr.8 Současný komín [ 8 ]

## 4. Inovační návrh spalínového traktu

V současném stavu odchází spaliny z ústí komína při teplotě 300°C. Na základě prozkoumání dané problematiky jsem zjistil, že by se tohle odpadní teplo dalo ještě využít. Proto bych v současném stavu kouřovod před komínem zamezil hradítky a navrhl novou kouřovou větev, ve které by byly 2 výměníky a vlastní komín. První výměník zchladí spaliny ze 300°C na 100°C. Může se jednat buď o klasický výměník nebo výměník HP. Jako druhý volím výměník HP, který umožňuje další využití nízko potenciálového odpadního tepla. Tento výměník zchladí z teploty ze 100°C na teplotu 50°C (teplotu pod rosným bodem).

V tomhle výměníku zkondenzuje z vlhkých spalin voda, která je potrubím odváděna do neutralizačního boxu a dále do kanalizační stoky. Zkondenzováním vody z vlhkých spalin dojde ke změně objemů spalin a tudíž ke změně hydraulických průměrů potrubí. Suché spaliny odcházející z výměníku nemají potřebný vztlak, proto za výměník bude umístěn ventilátor, který zajistí odvod spalin do komína a dále do ovzduší.

Velikost komínu nemusí být příliš velká, protože odvod spalin zajišťuje ventilátor. Materiál by měl být z nerezového materiálu. V případě poruchy ventilátoru se hradítka otevrou a spaliny se odvedou do současného komína.



Obr.9 Kondenzační výměník

## 5. Požadavkový list

### Zadané požadavky:

- navrhují koncový úsek spalínového traktu pro odvod spalín pro komorovou ohřívací pec s výstupní teplotou 300°C
- pec o výkonu 4MW
- topné médium zemní plyn

### Moje specifické požadavky:

- zvolit optimální výměník regulující teplotu
- odvod zkondenzované vody z výměníku
- zvolit příslušný ventilátor pro odvod spalín z kouřovodu do ovzduší
- požadavky na konstrukci, rozměry, funkčnost
- požadavky na řízení, obsluha

### 5.1 Funkční požadavky:

Jedná se o seznam funkcí, které by měl koncový spalínový trakt zastávat.

#### Funkční vlastnosti:

- zchladit teplotu spalín ze 300°C na 50°C
- odvod spalín z kouřovodu do ovzduší
- zajistit odvod zkondenzované vody

#### Konstrukční vlastnosti:

- zvolit příslušný výměník
- zvolit ventilátor pro odvod spalín
- navrhnout příslušné rozměry kouřovodu a komínu
- materiál kouřovodu a komínu zvolit voděodolný a těsný

### Diagnostické funkce:

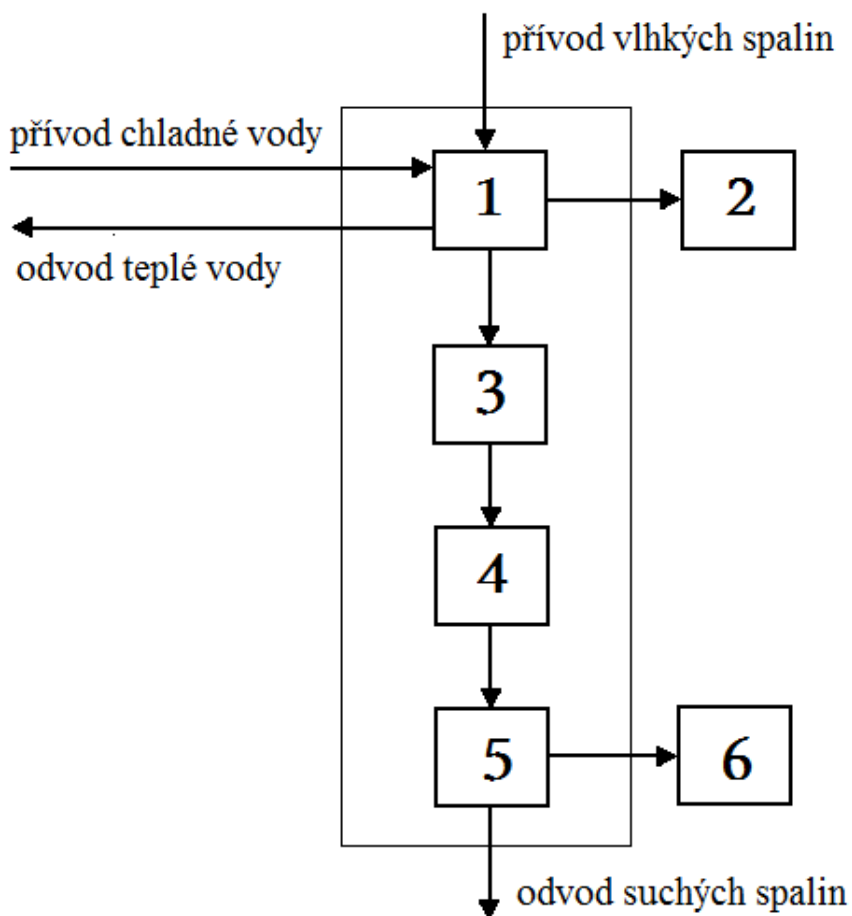
- sledování teploty odcházejících spalin
- sledování průtokového množství zkondenzované vody z výměníku
- sledování vlhkosti v komíně

### Bezpečnostní požadavky:

- při náhlé poruše ventilátoru zajistit odvod spalin připojením do stávajícího kouřového traktu

## 5.2 Funkční struktura

Na obr.10 je proveden rozbor funkční struktury. Struktura je obecně množina elementů, a jejich vztahů, který tvoří určitý celek. Popis jednotlivých částí je znázorněn v tabulce 2.



Obr.10 Funkční struktura spalinového traktu

Tab.2 Tabulka funkcí

	<b>FUNKCE</b>
<b>1</b>	Zchladit spaliny
<b>2</b>	Odvést zkondenzovanou vodu z výměníku
<b>3</b>	Odvod spalin do komína
<b>4</b>	Odvést spaliny
<b>5</b>	Odvod spalin do ovzduší
<b>6</b>	Odvod zbytkové nezkondenzované vody

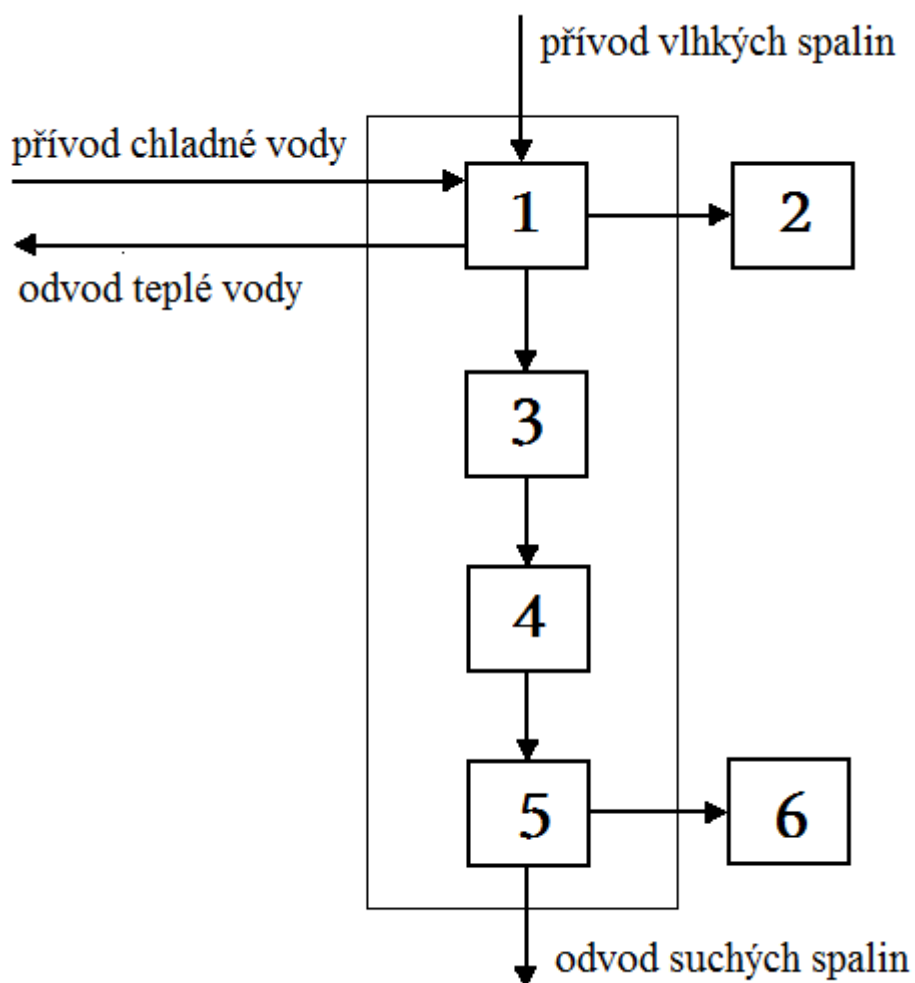
### 5.3 Morfologická matice

Morfologická matice má za úkol přehledně znázornit sestavení základní struktury celého navrženého zařízení. Morfologická matice přehledně znázorňuje všechny funkce, které má dané zařízení splňovat a je doplněna funkčními orgány, které jsou zvýrazněny a doplněny v tabulce 4.

Tab.3 Morfologická matice spalinového traktu

Funkce		Orgán			
		1	2	3	4
1	Zchladit spaliny	Deskový výměník	Výměník HP		
2	Odvést zkondenzovanou vodu	čerpadlo	Stlačený vzduch	samospád	
3	Volba kouřovodu	Kruhový	Čtvercový	Obdélníkový	mnohoúhelníkový
4	Odvést spaliny	Nucený tah	Přetlakový ventilátor	Podtlakový ventilátor	
5	Druh komínu	Kovový nerezový	keramický	plastový	
6	Odvod zbytkové vody ze spalin	Dopravní potrubí	jímka		

## 5.4 Orgánová struktura

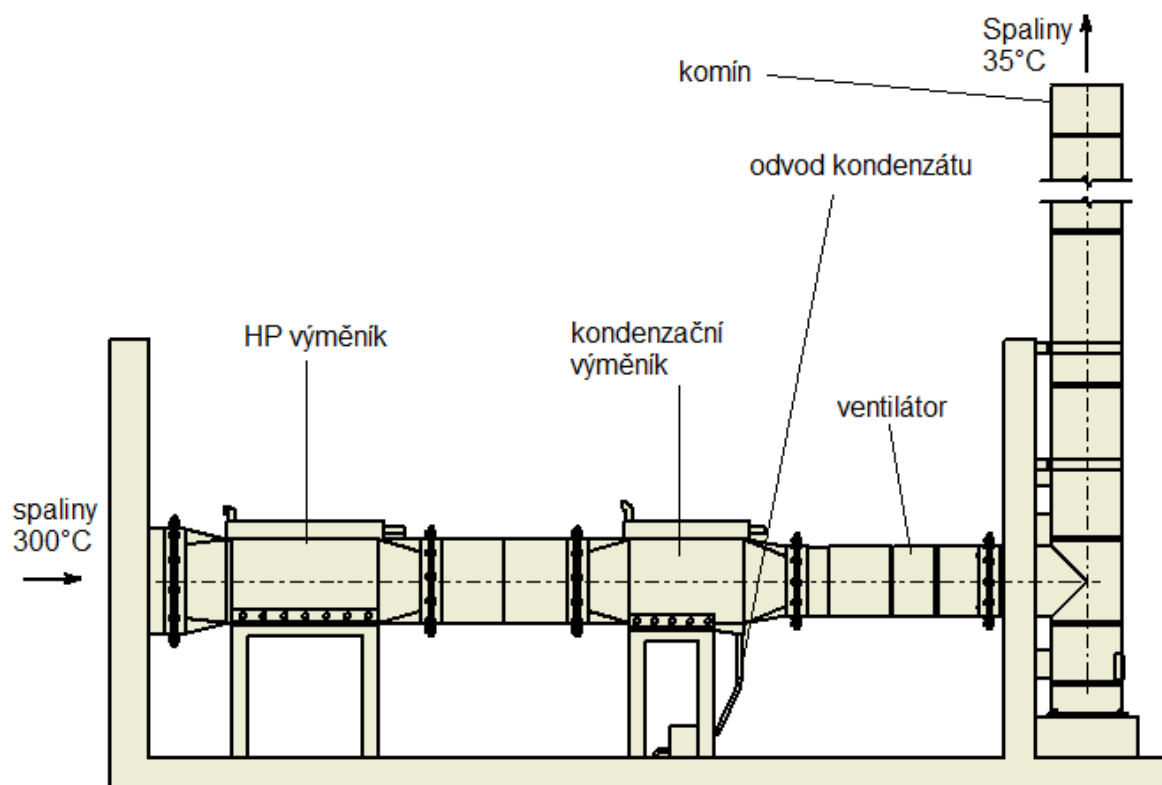


Obr.11 Orgánová struktura spalínového traktu

Tab.4 Tabulka org. funkcí

	<b>FUNKCE</b>
<b>1</b>	výměník HP
<b>2</b>	samospád
<b>3</b>	kouřovod
<b>4</b>	ventilátor
<b>5</b>	komín
<b>6</b>	jímka

## 5.5 Stavební struktura



Obr.11 Stavební struktura spalinového traktu



## 6. Spalování zemního plynu

### Zadávací hodnoty pro komorovou ohřívací pec:

Tab.5 Zadávací hodnoty

Divize: 300	NS/ÚNS: 340.12
Inventární číslo: 10717	Umístění: hala lisovny I.
Dodavatel/výrobce: Teplotechna Ostrava	Rok výroby / rekonstrukce: 2006/
Účel (technologická funkce): ohřev materiálu pro lis 60 MN	
Materiál (vsázka): kovářské ingoty až 40 t	
Topné médium: zemní plyn	Výhřevnost: 35 870 kJ/m <sup>3</sup>
Instalovaný tep. příkon:	4000 kW
Teplota prac. prostoru: max. 1250 °C	
Základní rozměry: vnější / vnitřní	
šířka: / 4000 mm	Délka / 8000 mm
výška: / 3200 mm	plocha nístěje: 32 m <sup>2</sup>
Měrný výkon nístěje: kg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>	Nosnost vozu: 180 t
Jmenovitý výkon: 350 (2500) kg.h <sup>-1</sup>	Měrná spotřeba tepla: kJ.kg <sup>-1</sup>
Typ hořáků: Stordy	
Počet hořáků: 10 (2 x 5 hořáků v bočních stěnách, nad úrovní vozu mezi podložkami)	
Výměník: rekuperátor	
Teplota předeřhř. vzduchu: 400 °C	Výhř. plocha: m <sup>2</sup>
Chlazení: portál	Spotřeba chl. média: m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
Komín: společný	Výška: 50 m Světlost: 2000 mm
Teplota spalin na odtahu z prac. prostoru: cca 300 °C	

Tab.6 Složení zemního plynu

Složky	%	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )	Výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> )
CO		1,25	12,64
H <sub>2</sub>		0,09	10,76
CH <sub>4</sub>	98,10	0,72	35,80
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,70	1,36	64,35
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,20	2,02	93,57
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,10	2,59	123,55
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		1,26	59,52
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>		1,17	56,94
N <sub>2</sub>	0,80	1,25	
CO <sub>2</sub>	0,10	1,98	
O <sub>2</sub>		1,43	
H <sub>2</sub> O		0,80	
<b>Celkem</b>	<b>100,00</b>	<b>0,73</b>	<b>35,88</b>
<b>Wobeho č.</b>	<b>47,70</b>		

Stechiometrie spalování směsného plynu je uvedena v tab. 7

Tab.7 Spalovací tabulka zemního plynu

Spalování plynného paliva								
Složení 1m <sup>3</sup> N plynu	Plyn	Stechiometrická reakce	Potřeba O <sub>2</sub>	Spaliny (m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /m <sup>3</sup> <sub>Nplynu</sub> )				
				CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Σ
0,981	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> +2·O <sub>2</sub> →CO <sub>2</sub> +2·H <sub>2</sub> O	1,962	0,981	1,962			2,943
0,007	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + 3,5·O <sub>2</sub> → 2·CO <sub>2</sub> + 3·H <sub>2</sub> O	0,0245	0,014	0,021			0,035
0,002	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> +5O <sub>2</sub> →3CO <sub>2</sub> +4H <sub>2</sub> O	0,01	0,006	0,008			0,014
0,001	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + 6,5·O <sub>2</sub> → 4·CO <sub>2</sub> + 5·H <sub>2</sub> O	0,0065	0,004	0,005			0,009
0,008	N <sub>2</sub>					0,008		0,008
0,001	CO <sub>2</sub>			0,001				0,001
		Teoretická potřeba O <sub>2</sub> Σ	2,003	1,006	1,996			3,01

### **Teoretické množství vzduchu při spalování (n=1)**

$$V_{vzt} = \frac{\Sigma O_2}{0,21} \quad [m^3 / m_{pl}^3] \quad (1)$$

$$V_{vzt} = \frac{2,003}{0,21} = 9,538 \quad [m^3 / m_{pl}^3]$$

$\Sigma O_2$  .....teoretická potřeba  $O_2$

### **Skutečné množství vzduchu při spalování (n=1,05)**

$$V_{vzds} = V_{vzt} \cdot n \quad [m^3 / m_{pl}^3] \quad (2)$$

$$V_{vzds} = 9,538 \cdot 1,05 = 10,015 \quad [m^3 / m_{pl}^3]$$

n      Přebytek vzduchu      [-]

### **Množství dusíku ve vzduchu (n=1)**

$$V_{N_2, n=1} = V_{vzt} \cdot 0,79 = 9,538 \cdot 0,79 = 7,535 \quad [m^3 / m_{pl}^3] \quad (3)$$

### **Množství dusíku ve vzduchu (n=1,05)**

$$V_{N_2, n=1,05} = V_{vzds} \cdot 0,79 = 10,015 \cdot 0,79 = 7,92 \quad [m^3 / m_{pl}^3] \quad (4)$$

### **Celkové množství dusíku ve spalínách:**

$$V_{N_{CSP}} = V_{N_{2teor}} + V_{N_2, n=1,05} = 0,008 + 7,92 = 7,928 \quad [m^3 / m_{pl}^3] \quad (5)$$

$V_{N_{2teor}}$  - teoretické množství dusíku ve spalínách

### **Množství kyslíku ve spalínách**

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (n-1) \cdot V_{vzt} \quad [m^3 / m_{pl}^3] \quad (6)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (1,05 - 1) \cdot 9,538 = 0,1 \quad [m^3 / m_{pl}^3]$$

Tab.8 Složení suchých spalín

CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	V <sub>sps</sub>
1,006 [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]	7,928 [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]	0,100 [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]	9,034m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]
11,2%	87,7%	1,1%	100%

## 6.1 Složení vlhkých spalín

**Teoretické množství vody vázané na teoretické množství vzduchu**

$$V_{H_2O} = V_{VZT} \cdot \varphi \cdot \frac{p_s}{p_o - p_s} = 9,538 \cdot 0,6 \cdot \frac{3173}{100415 - 3173} = 0,186 [m^3 / m_{pl}^3] \quad (7)$$

$\varphi$  Relativní vlhkost plynu [-]

$p_s$  Parciální tlak vodní páry mezi sytosti pro teplotu t [ 6 ] str.150 [Pa]

$p_o$  Atmosférický tlak [Pa]

**Obsah vody ve vlhkých spalínách pro přebytek vzduchu n = 1**

$$V_{H_2O, n=1} = V_{H_2O} + V_{H_2O_{teor}} = 0,186 + 1,996 = 2,18 [m^3 / m_{pl}^3] \quad (8)$$

$V_{H_2O_{teor}}$  Teoretická spotřeba vody tab.7  $[m^3 / m_{pl}^3]$

## Vzorový výpočet složení vlhkých spalín pro přebytek vzduchu $n = 1,05$

přebytek vzduchu při  $n = 1,05$ :

$$V_{VZ\text{ př}, n=1,05} = V_{VZ\text{ teor}, n=1,05} - V_{VZT} = 10,015 - 9,538 = 0,477 \left[ m^3 / m_{pl}^3 \right] \quad (9)$$

**přebytky jednotlivých složek spalín ze vzduchu pro  $n = 1,05$ :**

$$V_{O_2\text{ př}, n=1,05} = V_{VZ\text{ př}, n=1,05} \cdot 0,21 = 0,477 \cdot 0,21 = 0,1002 \left[ m^3 / m_{pl}^3 \right] \quad (10)$$

$$V_{N_2\text{ př}, n=1,05} = V_{VZ\text{ př}, n=1,05} \cdot 0,79 = 0,477 \cdot 0,79 = 0,377 \left[ m^3 / m_{pl}^3 \right] \quad (11)$$

$$V_{H_2O\text{ př}, n=1,05} = (n-1) \cdot V_{H_2O} = 0,05 \cdot 0,186 = 0,0093 \left[ m^3 / m_{pl}^3 \right] \quad (12)$$

**složení spalín pro  $n = 1,05$ :**

$$V_{O_2, n=1,05} = V_{O_2, n=1} + V_{O_2\text{ př}, n=1,05} = 0 + 0,1002 = 0,100 \left[ m^3 / m_{pl}^3 \right] \quad (13)$$

$$V_{N_2, n=1,05} = V_{N_2, n=1} + V_{N_2\text{ př}, n=1,05} = 7,535 + 0,377 = 7,928 \left[ m^3 / m_{pl}^3 \right] \quad (14)$$

$$V_{H_2O, n=1,05} = V_{H_2O, n=1} + V_{H_2O\text{ př}, n=1,05} = 2,18 + 0,0093 = 2,19 \left[ m^3 / m_{pl}^3 \right] \quad (15)$$

Analogicky proveden výpočet složení spalín pro přebytky vzduchu  $n = 1,5$  a  $2$ . Výsledky jsou shrnuty v tabulce 9.

Tab. 9 Složení vlhkých spalín zemního plynu pro  $n=1, 1.05, 1.5, 2$

$n = 1$					
	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Suma
$V_{sp} [m^3/m_{pl}^3]$	2,18	1,006	7,535	0,000	10,717
$\sigma_i [\%]$	20,34	9,387	70,3	0,000	100,000

n = 1,05					
	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Suma
V <sub>sp</sub> [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]	2,19	1,006	7,928	0,100	11,224
σ <sub>i</sub> [%]	19,51	8,96	70,63	0,9	100,000
n = 1,5					
	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Suma
V <sub>sp</sub> [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]	2,273	1,006	11,3	1,002	15,581
σ <sub>i</sub> [%]	14,59	6,45	72,52	6,43	100,000
n = 2					
	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Suma
V <sub>sp</sub> [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]	2,366	1,006	15,07	2,003	20,445
σ <sub>i</sub> [%]	11,57	4,92	73,7	9,8	100,000

## 6.2 Výpočet měrné entalpie a výhřevnosti spalin

Měrná entalpie spalin z výhřevnosti :

$$i_{n=1,05} = \frac{H_i}{V_{SP,n=1,05}} = \frac{35962}{11,224} = 3204 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \quad (16)$$

$H_i$  Výhřevnost zemního plynu [kJ.m<sup>-3</sup>]

$V_{SP, n = 1,05}$  Celkové množství vlhkých spalin pro n = 1,05 [m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup><sub>pl</sub>]

Výpočet proveden analogicky pro n = 1,05; 1,5 a 2. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 10

Tab. 10 Výhřevnost zemního plynu

SLOŽKY PLYNU	MNOŽSTVÍ $r_i$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>pl</sub> ]	VÝHŘEVNOST SLOŽEK PLYNU $H_{ii}$ [kJ/m <sup>3</sup> ]	$r_i \cdot H_{ii}$ [kJ/m <sup>3</sup> ]
CH <sub>4</sub>	0,98	35883	35201
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,007	64345	450
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,002	93215	186
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,001	123810	124
VÝHŘEVNOST PLYNU $Q_n = \sum r_i \cdot H_{ii}$			35962

Tab. 11 Měrná entalpie spalín

	n = 1	n = 1,05	n = 1,5	n = 2
i [kJ/m <sup>3</sup> ]	3355.6	3204	2308	1759

### 6.3 Tepelné vlastnosti spalín

#### Střední měrná tepelná kapacita spalín pro různé teploty spalování

Tab. 12 Střední měrná kapacita plynů

TEPLOTA [°C]	H <sub>2</sub> O [kJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> [kJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	N <sub>2</sub> [kJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	O <sub>2</sub> [kJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
500	1,595	1,989	1,337	1,346
1000	1,721	2,205	1,393	1,407
1500	1,848	2,334	1,449	1,461
2000	1,964	2,423	1,492	1,504
2500	2,057	2,479	1,733	1,483

Vzorový výpočet měrné tep. kapacity spalin  $\overline{c_{p,sp}}$  pro různé  $n$  a teplotu  $t = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$c_{p,n=1} = \frac{100}{\frac{\sigma_{H_2O}}{C_{pH_2O}} + \frac{\sigma_{CO_2}}{C_{pCO_2}} + \frac{\sigma_{N_2}}{C_{pN_2}} + \frac{\sigma_{O_2}}{C_{pO_2}}} =$$

$$= \frac{100}{\frac{20,34}{1,595} + \frac{9,387}{1,989} + \frac{70,3}{1,337} + \frac{0,0}{1,346}} = 1,426 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1} \quad (17)$$

$$c_{p,n=1,05} = \frac{100}{\frac{\sigma_{H_2O}}{C_{pH_2O}} + \frac{\sigma_{CO_2}}{C_{pCO_2}} + \frac{\sigma_{N_2}}{C_{pN_2}} + \frac{\sigma_{O_2}}{C_{pO_2}}} =$$

$$= \frac{100}{\frac{19,51}{1,595} + \frac{8,96}{1,989} + \frac{70,63}{1,337} + \frac{0,9}{1,346}} = 1,423 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$c_{p,n=1,5} = \frac{100}{\frac{\sigma_{H_2O}}{C_{pH_2O}} + \frac{\sigma_{CO_2}}{C_{pCO_2}} + \frac{\sigma_{N_2}}{C_{pN_2}} + \frac{\sigma_{O_2}}{C_{pO_2}}} =$$

$$= \frac{100}{\frac{14,59}{1,595} + \frac{6,45}{1,989} + \frac{72,52}{1,337} + \frac{6,43}{1,346}} = 1,403 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$c_{p,n=2} = \frac{100}{\frac{\sigma_{H_2O}}{C_{pH_2O}} + \frac{\sigma_{CO_2}}{C_{pCO_2}} + \frac{\sigma_{N_2}}{C_{pN_2}} + \frac{\sigma_{O_2}}{C_{pO_2}}} =$$

$$= \frac{100}{\frac{11,57}{1,595} + \frac{4,654}{1,989} + \frac{73,7}{1,337} + \frac{9,8}{1,346}} = 1,391 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$

Výpočet proveden analogicky pro teploty spalování  $t = 1000, 1500, 2000$  a  $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Výsledky jsou shrnuty v tabulce 13.



Tab. 13 – Střední měrná tepelná kapacita spalín

TEPLOTA	n = 1	n = 1,05	n = 1,5	n = 2
[°C]	[kJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	[kJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	[kJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	[kJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup> ]
500	1,427	1,424	1,400	1,386
1000	1,503	1,499	1,470	1,453
1500	1,574	1,568	1,536	1,516
2000	1,630	1,624	1,588	1,567
2500	1,843	1,836	1,789	1,762

### Hmotnostní podíly spalín :

Tab. 14 Tepelné fyzikální vlastnosti spalín

	$\lambda_o$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	$\eta$ [Pa·s]	$M_i$ [kg·kmol <sup>-1</sup> ]
CO <sub>2</sub>	0,01424	$13,82 \cdot 10^{-6}$	44,009
H <sub>2</sub> O	0,555	$17,887 \cdot 10^{-4}$	14,027
N <sub>2</sub>	0,02386	$16,6 \cdot 10^{-6}$	28,014
O <sub>2</sub>	0,02428	$19,2 \cdot 10^{-6}$	31,998

### Molární hmotnost:

Příklad výpočtu pro n=1,05

$$M_{n=1,05} = \sum(\omega_i \cdot M_i) = 0,0886 \cdot 44,009 + 0,1951 \cdot 14,027 + 0,7063 \cdot 28,014 + 0,009 \cdot 31,998 = 3,899 + 2,736 + 19,786 + 0,289 = 26,71 \text{ [kg} \cdot \text{kmol}^{-1}]$$

( 18)

### Hustota spalín:

- je hmotnost jednoho  $m^3$  spalín zemního plynu v kilogramech.

$$\rho_{spn=1,05} = \frac{M_{n=1,05}}{V_n} = \frac{26,71}{22,4} = 1,192 [kg \cdot m^{-3}] \quad (19)$$

$$\sigma_{CO_2} = \omega_{CO_2} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_{n=1,05}} = 8,96 \cdot \frac{44,009}{26,71} = 14,76 [\%] \quad (20)$$

$$\sigma_{H_2O} = \omega_{H_2O} \cdot \frac{M_{H_2O}}{M_{n=1,05}} = 19,51 \cdot \frac{14,027}{26,71} = 10,25 [\%] \quad (21)$$

$$\sigma_{N_2} = \omega_{N_2} \cdot \frac{M_{N_2}}{M_{n=1,05}} = 70,63 \cdot \frac{28,014}{26,71} = 74,08 [\%] \quad (22)$$

$$\sigma_{O_2} = \omega_{O_2} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{n=1,05}} = 0,9 \cdot \frac{31,998}{26,71} = 1,08 [\%] \quad (23)$$

Tab.15 Procentuální hustota složek pro n=1.

	$\omega_i [\%]$	$\sigma_i [\%]$
CO <sub>2</sub>	9,387	13,88
H <sub>2</sub> O	20,34	9,61
N <sub>2</sub>	70,3	76,52

$$M_{n=1} = 26,67 [kg \cdot kmol^{-1}], \rho_{n=1} = 1,19 [kg \cdot m^3].$$

Tab.16 Procentuální hustota složek pro n=1,05.

	$\omega_i [\%]$	$\sigma_i [\%]$
CO <sub>2</sub>	8,96	14,76

H <sub>2</sub> O	19,51	10,25
N <sub>2</sub>	70,63	74,08
O <sub>2</sub>	0,9	1,08

Tab. 4.2

$$M_{n=1,05} = 26,85 \text{ [kg} \cdot \text{kmol}^{-1}], \rho_{n=1,05} = 1,198 \text{ [kg} \cdot \text{m}^3].$$

Tab.17 Procentuální hustota složek pro n=1,5.

	$\omega_i [\%]$	$\sigma_i [\%]$
CO <sub>2</sub>	6,45	9,68
H <sub>2</sub> O	14,59	6,94
N <sub>2</sub>	75,52	76,44
O <sub>2</sub>	6,43	7,01

$$M_{n=1,5} = 27,25 \text{ [kg} \cdot \text{kmol}^{-1}], \rho_{n=1,5} = 1,217 \text{ [kg} \cdot \text{m}^3].$$

Tab.18 Procentuální hustota složek pro n=2.

	$\omega_i [\%]$	$\sigma_i [\%]$
CO <sub>2</sub>	4,92	7,44
H <sub>2</sub> O	11,57	5,55
N <sub>2</sub>	73,7	76,47
O <sub>2</sub>	9,8	10,76

$$M_{n=2} = 27,57 \text{ [kg} \cdot \text{kmol}^{-1}], \rho_{n=2} = 1,23 \text{ [kg} \cdot \text{m}^3].$$

### Součinitel tepelné vodivosti spalin:

Příklad výpočtu pro  $n=1,05$ :

$$\lambda_{o,sp,n=1} = \frac{100}{\frac{\sigma_1}{\lambda_{CO_2}} + \frac{\sigma_2}{\lambda_{H_2O}} + \frac{\sigma_3}{\lambda_{N_2}} + \frac{\sigma_4}{\lambda_{O_2}}} =$$
$$\frac{100}{\frac{14,76}{0,01424} + \frac{10,25}{0,555} + \frac{74,08}{0,02386} + \frac{1,08}{0,02428}} = 23,78 \cdot 10^{-3} [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (24)$$

Tab.19 Součinitel tepelné vodivosti

	$\lambda_{O,sp} [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
n=1	$23,77 \cdot 10^{-3}$
n=1,05	$23,78 \cdot 10^{-3}$
n=1,5	$23,88 \cdot 10^{-3}$
n=2	$23,9 \cdot 10^{-3}$

### Dynamická viskozita spalin:

Příklad výpočtu pro  $n=1,05$ :

$$\eta_{o,sp,n=1,05} = \frac{100}{\frac{\sigma_1}{\eta_{CO_2}} + \frac{\sigma_2}{\eta_{H_2O}} + \frac{\sigma_3}{\eta_{N_2}} + \frac{\sigma_4}{\eta_{O_2}}} =$$
$$\frac{100}{\frac{14,76}{13,82 \cdot 10^{-6}} + \frac{10,25}{17,887 \cdot 10^{-4}} + \frac{74,08}{16,6 \cdot 10^{-6}} + \frac{1,08}{0,02428}} = 1,999 \cdot 10^{-6} [Pa \cdot s] \quad (25)$$

Tab.20 Dynamická viskozita spalín

	$\eta_{o,sp} [\text{Pa} \cdot \text{s}]$
n=1	$1,779 \cdot 10^{-5}$
n=1,05	$2,216 \cdot 10^{-6}$
n=1,5	$3,4 \cdot 10^{-7}$
n=2	$2,23 \cdot 10^{-7}$

### Stanovení rosného bodu spalín:

**Rosný bod spalín  $t_{rb}$**  je teplota, při které začíná kondenzovat voda, obsažená ve spalínách ve formě vodní páry.

Rosný bod spalín se stanoví jako teplota, odpovídající tlaku nasycené vodní páry ve spalínách.

Tlak nasycené vodní páry se stanoví z rovnice:

$$p'_w = \frac{V_{H_2O,n=1,05}}{V_{sp,n=1,05}} \cdot (p_b \pm \Delta p) \quad [\text{Pa}] \quad (26)$$

$p'_w$  Tlak nasycené vodní páry ve spalínách [Pa]

$p_b$  Barometrický tlak [Pa]

$\Delta p$  Přetlak, nebo podtlak spalín [Pa]

$V_{H_2O,n=1,05}$  Množství vodní páry při spalování n=1,05  $[m^3 / m_{pl}^3]$

$V_{sp,n=1,05}$  Množství vlhkých spalín při n=1,05  $[m^3 / m_{pl}^3]$

$$p_w = \frac{2,185}{11,224} \cdot (100550 - 1000) = \underline{\underline{19379 \text{ Pa}}}$$

Z tab. 38 [ 1 ] se pro hodnotu  $p_w = 17734 \text{ Pa}$  odečte teploty rosného bodu spalín  $t_{rb} = \text{cca } 59^\circ\text{C}$ .

## 7. Spotřeba zemního plynu a spalovacího vzduchu

Spotřeba zemního plynu  $V_{ph}$  je množství plynu, které je nutno přivést za jednu hodinu spotřebiči pro daný příkon  $P_p$ .

Spotřeba spalovacího vzduchu  $V_{vh}$  je množství vzduchu, které je nutno přivést za jednu hodinu spotřebiči pro úplné spálení množství zemního plynu  $V_{ph}$ , odpovídajícího příkonu  $P_p$ .

**Spotřeba zemního plynu se stanoví z rovnice:**

$$V_{ph} = \frac{P_p}{H_i \text{ (kWh)}} = \frac{4000}{9,964} = \underline{\underline{401,45 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]}}} \quad (27)$$

$H_i$  Výhřevnost zemního plynu [kWh]

$P_p$  Příkon pece [kW]

**-Spotřeba spalovacího vzduchu se stanoví z rovnice:**

$$V_{vh} = \frac{P_p}{H_i \text{ (kWh)}} \cdot V_{vzds} = \frac{4000}{9,964} \cdot 10,015 = \underline{\underline{4020,4 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]}}} \quad (28)$$

$V_{vzds}$  Skutečné množství vzduchu při spalování  $n=1,05$   $\left[ \text{m}^3 / \text{m}_{pl}^3 \right]$

## 7.1 Množství odcházejících vlhkých spalin

Množství spalin odcházejících ze spotřebičů  $V_{sh}$  je objem spalin, který vznikne ve spotřebiči spalováním zemního plynu, při daném příkonu spotřebiče  $P_p$  za jednu hodinu.

$$V_{sh} = \frac{P_p}{H_i (kWh)} \cdot V_{SP,n=1,05} = \frac{4000}{9,964} \cdot 11,224 = \underline{\underline{4505,8 [m^3 \cdot h^{-1}]}} \quad (29)$$

$$V_{SP,n=1,05} \quad \text{Celkové množství vlhkých spalin pro } n = 1,05 \text{ viz tab. 9} \quad [m^3 / m_{pl}^3]$$

## 7.2 Množství odcházejících suchých spalin

$$V_{spsuch} = \frac{P_p}{H_i (kWh)} \cdot V_{such,n=1,05} = \frac{4000}{9,964} \cdot 9,034 = \underline{\underline{3626,65 [m^3 \cdot h^{-1}]}} \quad (30)$$

$$V_{Such,n=1,05} \quad \text{Objem suchých spalin } n=1,05 \quad [m^3 / m_{pl}^3]$$

## 8. Průřez kouřovodů a komínu

Kouřovody a komíny spotřebičů zemního plynu slouží k odvodu spalin ze spotřebičů do atmosféry.

**Teoretický průřez kouřovodu, se stanoví z rovnice:**

$$S_{teor} = \frac{V_{sh} \cdot k_t}{w_{spD} \cdot 3600} [m^2] \quad (31)$$

$V_{sh}$  Množství vlhkých spalin, odcházejících ze spotřebiče  $[m^3 \cdot h^{-1}]$

$W_{spD}$  Doporučená rychlost spalin v kouřovodu nebo komínu  $[m^3 \cdot s^{-1}]$

$w_{spD} = 1,3$  až  $1,5 m \cdot s^{-1}$  – zděné kouřovody a komíny

$w_{spD} = 1,5$  až  $1,8 m \cdot s^{-1}$  – plechové kouřovody a komíny

$k_t$  Součinitel přisávání vzduchu do kouřovodu  $[-]$

těsný kouřovod  $k_t=1,2$

**Teoretický průměr kouřovodu:**

$$D_{teor} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_{teor}} = [m] \quad (32)$$

**Množství odcházejících spalin před výměníkem ( $t=100^\circ$ ):**

$$\begin{aligned} V_{t=100} &= \frac{T_2 \cdot p_o \cdot V_{sh}}{T_0 \cdot p_1} = \\ &= \frac{373 \cdot 100400 \cdot 4505,8}{273 \cdot 99900} = \underline{\underline{6187,1 [m^3 \cdot h^{-1}]}} = \underline{\underline{1,71 [m^3 \cdot s^{-1}]}} \end{aligned} \quad (33)$$

$T_2$  Teplota před výměníkem HP  $[K]$

$T_0$  Teplota při normálních podmínkách  $[K]$

$P_o$  Atmosférický tlak  $[Pa]$



$P_1$  Tlak před výměníkem HP [Pa]

**Průřez kouřovodu před výměníkem ( $t=100^\circ$ ):**

$$S_{t=100} = \frac{V_{t=100} \cdot k_t}{w_{spv} \cdot 3600} = \frac{6187,1 \cdot 1,2}{4 \cdot 3600} = \underline{\underline{0,51 [m^2]}} \quad (34)$$

$W_{spv}$  Rychlost spalin před výměníkem [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

**8.1 Průměr kouřovodu před výměníkem ( $t=100^\circ$ ):**

$$D_{t=100} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_{t=100}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 0,51} = \underline{\underline{0,8 [m]}} \quad (35)$$

**Množství odcházejících suchých spalin z výměníku ( $t=50^\circ$ ):**

$$\begin{aligned} V_{t=50} &= \frac{T_3 \cdot p_o \cdot V_{spsuch}}{T_o \cdot p_2} = \\ &= \frac{323 \cdot 100400 \cdot 3626,65}{273 \cdot 99820} = \underline{\underline{4315,8 [m^3 \cdot h^{-1}]}} = \underline{\underline{1,19 [m^3 \cdot s^{-1}]}} \end{aligned} \quad (36)$$

$P_2$  Tlak za výměníkem HP [Pa]

$T_3$  Teplota za výměníkem HP [K]

$T_o$  Teplota při normálních podmínkách [K]

$P_o$  Atmosférický tlak [Pa]

$V_{spsuch}$  Množství suchých spalin [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

**Průřez kouřovodu za výměníkem (t=50°):**

$$S_{t=50} = \frac{V_{t=50} \cdot k_t}{w_{spzv} \cdot 3600} = \frac{4315,8 \cdot 1,2}{4,1 \cdot 3600} = \underline{\underline{0,35 [m^2]}} \quad (37)$$

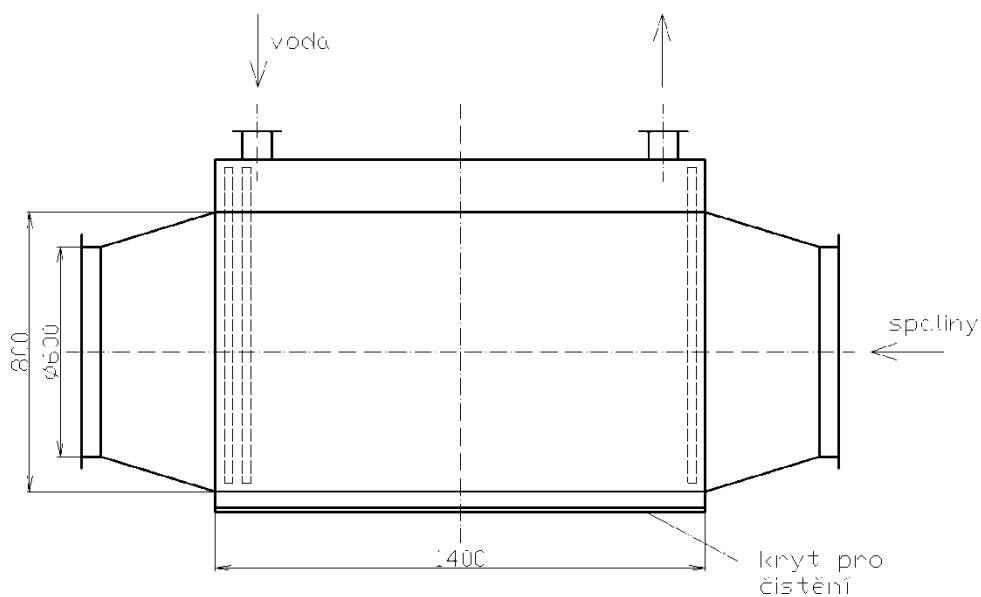
$W_{spzv}$  Rychlost spalin za výměníkem  $[m^3 \cdot s^{-1}]$

**8.2 Průměr kouřovodu za výměníkem (t=50°):**

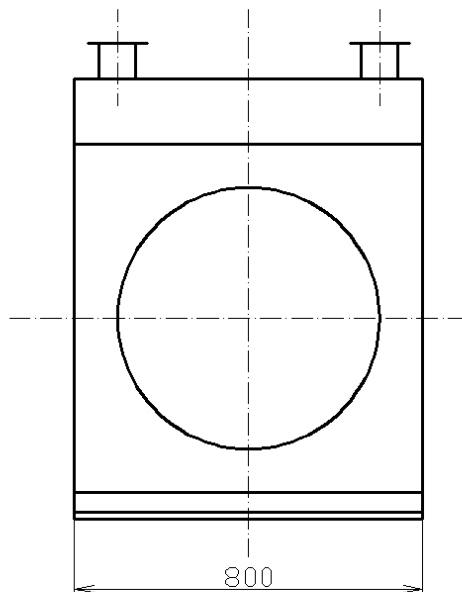
$$D_{t=50} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_{t=100}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot 0,35} = \underline{\underline{0,66 [m]}} \quad (38)$$

## 9. Řešení daných výměníků

Tyto rozměry výměníků jsou poskytnuty od firmy Forsteel s.r.o. [ 10 ]



Obr.12 Nárýs výměníku



Obr.13 Bokorys výměníku

### 9.1 Množství zkondenzované vody z výměníku

$$\rho_{n, spn=1,05} = \frac{M_{n=1,05}}{V_n} = \frac{26,71}{22,4} = 1,198 \left[ kg \cdot m^{-3} \right] \quad (39)$$

$$\rho_{n, spn=1,05} \quad \text{Hustota spalin} \quad \left[ kg \cdot m^{-3} \right]$$

$$M_{n=1,05} \quad \text{Molární hmotnost spalin} \quad \left[ kg \cdot mol^{-1} \right]$$

10,25 % činí  $H_2O$  viz tab. 16

Pak tedy vlhkost je  $0,1228 \left[ kg \cdot m^{-3} \right]$

$$\text{Převod vlhkosti :} \quad H_{2O_{kap}} = H_{2O_{pary}}$$

$$18kg = 22,4 \left[ kg \cdot m^{-3} \right]$$

$$H_{2O_{kap}} = \underline{0,098 \text{ kg.s}^{-1}}$$

## 9.2 Odvod kondenzátu z kondenzačního výměníku

„Na odvod kondenzátů se obecně vztahuje zákon o vodách, ČSN EN 12056-1, kap. 4.5 a ČSN 75 67 60 z r. 2003, kapitolou 10.

Kondenzáty se odvádějí do kanalizační a stokové sítě, jen v souladu s podmínkami uvedenými v kanalizačním řádu zpracovaným provozovatelem veřejné kanalizace, který stanoví podmínky. Do vnitřní kanalizace je možné odvádět pouze kondenzáty, které neškodí a nemohou poškodit materiál potrubí a příslušenství.

Kondenzáty vzniklé spalováním musí být odváděny jen do té části vnitřní kanalizace, které jsou odolné proti odpadním vodám s hodnotou pH menší než 6,5. Národní a místní předpisy a zvyklosti mohou vyžadovat předčištění kondenzátů před jejich odvedením vnitřní kanalizací“ [ 5 ]

Proto volím neutralizační box, který kyselost zneutralizuje na povolenou hranici. Ten je tvořen nádobou z plastické hmoty s náplní neutralizačního granulátu - odkyselovací hmoty, na kterou se váže  $\text{CO}_2$ .

Tab.21 Množství kondenzátu na  $\text{m}^3$

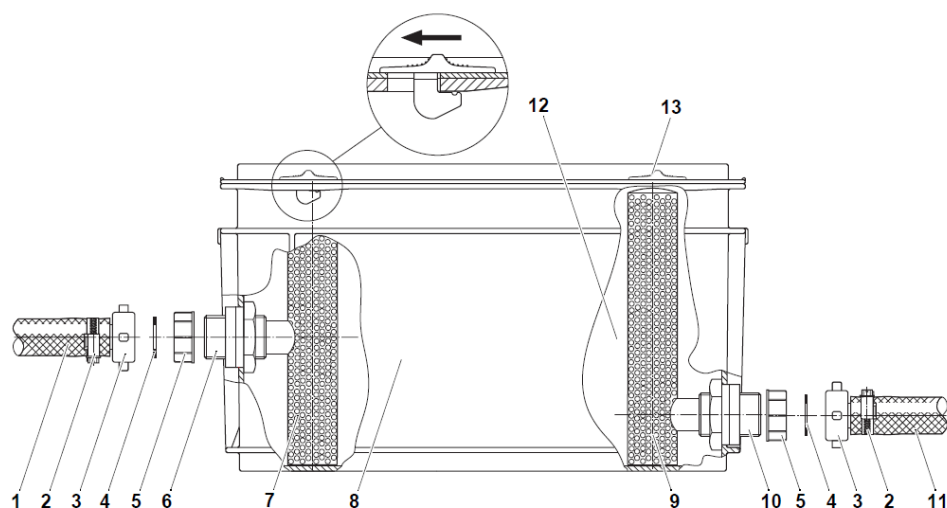
Zemnní plyn	Propan	Topný olej
$1,53 \text{ kg/m}^3$	$3,37 \text{ kg/m}^3$	$0,88 \text{ kg/m}^3$

Rozměry (mm): 400 x 300 x 300

Hmotnost : 30kg



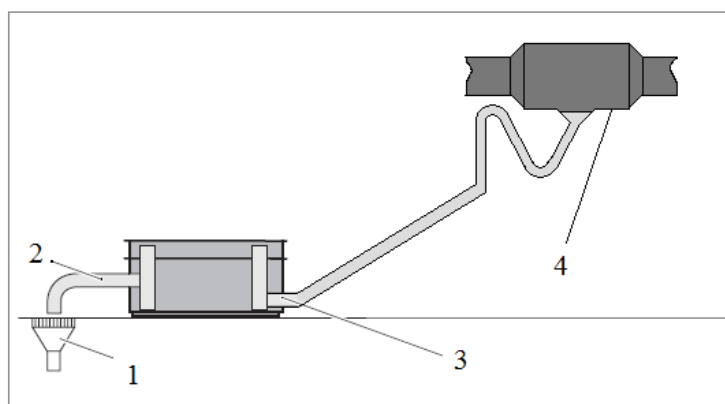
Obr.14 Neutralizační box [ 6 ]



Obr. 15 Detail neutralizačního boxu [ 2 ]

- 1: Výtoková hadice, DN 19 × 2,5 m dlouhá
- 2: Hadicová spona, Ø 20 × 32 mm
- 3: Přímá hadicová vsuvka DN 19 s převlečnou maticí (G 1)
- 4: Ploché těsnění, Ø 30 × 19 × 2 mm
- 5: Krytka
- 6: Výtokový nátrubek (G 1)
- 7: Filtrační trubka-výtok
- 8: Neutralizační skříň s víkem 400 × 300 × 220 mm
- 9: Filtrační trubka-přítok
- 10: Přítokový nátrubek (G 1)
- 11: Přítoková hadice, DN 19 × 1,0 m dlouhá
- 12: Neutralizační prostředek 10 kg Gialit-MG zrnitost II
- 13: Uzavírací šoupátko pro víko skříně

### Schéma zapojení:



Obr.16 Schéma odvodu kondenzátu

*Legenda:*

1. podlahová výpust
2. výtoková hadice
3. přítoková hadice
4. kondenzační výměník

## 10. Návrh ventilátoru

**Ventilátor** je rotační lopatkový přístroj, který slouží k přečerpávání plynů. Spalinových ventilátorů se používá k odtahu spalin tehdy, vycházejí-li výpočtem velké výšky komínů, mají-li spaliny nízkou teplotu, nebo z jiných provozních a místních důvodů.

Ventilátor má být umístěn tak, aby při poruše ventilátoru pec mohla pracovat s přirozeným tahem, čímž se ovšem její výkon sníží. Teplota spalin odsávaných ventilátorem je omezena

druhem a kvalitou materiálu. Pro teploty do 400°C jsou ventilátory z obvyčejné konstrukční oceli, uložení ložisek má být mazané tukem a nemají mít vyšší teplotu jak 70°C. Ventilátory se používají axiální a radiální.<sup>«[ 2]</sup>

Čím větší je tlaková ztráta, tím větší je spotřeba elektrické energie

Potřebný ventilátor stanovíme z rovnice:

$$P_v = \frac{V_{t=50^\circ C} \cdot \Delta p t}{\eta_{ven}} \quad [\text{kW}] \quad (40)$$

$$P_v = \frac{V_{t=50^\circ C} \cdot \Delta p}{\eta_{ven}} = \frac{1,19 \cdot 1100}{0,55} = 2,38 \text{ kW}$$

$V_{t=50^\circ C}$  Množství odcházejících suchých spalin z výměníku  $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

$\Delta p t$  Tlaková ztráta potřebná k překonání  $[\text{Pa}]$

$\eta_{\text{ven}}$  Účinnost ventilátoru [-]

$P_v$  Výkon ventilátoru [kW]

Volím axiální potrubní ventilátor od firmy Casals s označením: HM 63 T4 4.



Obr.17 Ventilátor HM 63 T4 4 [ 7 ]

Roční provoz ventilátoru s výkonem 3 kW při ceně 1kW=4kč by vyšel 43 040kč.

Pozn. bereme-li v úvahu že je 240 pracovních dní a ventilátor by pracoval 16hodin denně.

## 11. Návrh komínu

### Základní názvosloví:

**Komín** - je zpravidla svislá konstrukce s komínovým průduchem, odvádějící spaliny od sopouchu po ústí komína a odvádějící případný kondenzát. Komín může obsahovat více komínových průduchů.

**Komínový průduch** - je svislá dutina v konstrukci komína, určená k odvodu spalin do volného ovzduší. Musí mít neměnný průřez po celé výšce

**Kouřovod** - je konstrukce s průduchem určená pro odvod spalin od kouřového hrdla do sopouchu

**Sopouch** - je otvor v komínovém plášti a v potrubí komínového průduchu (vložce), sloužící k propojení průduchu nebo jímky na kondenzát.

**Ústí komína** - je místo, ve kterém spaliny opouštějí průduch komína a vstupují do volného ovzduší.

**Kondenzátní jímka** - je vodotěsný prostor v půdici komínového průduchu, určený k jímání kondenzátu ze spalin

## 11.1 Základní rozdělení komínů

### Třídění komínů podle umístění:

- vestavěné nebo přistavené - pokud konstrukčně nebo staticky souvisí s budovou.
- samostatně stojící - v případě, že nesouvisí konstrukčně ani staticky s budovou.

### Podle konstrukčního uspořádání:

- jednovrstvé - kde komínový plášť tvoří přímo komínový průduch.
- vícevrstvé - u nichž je potrubí komínového průduchu odděleno od pláště komína.

## 11.2 Volba komínu

Jelikož teplota odcházejících spalin z výměníku má teplotu 50°C a zkondenzovala voda ze spalin, musí se spaliny dopravit do ústí komínu a poté do ovzduší. Při této nízké teplotě spalin je malý rozdíl mezi teplotou spalin a venkovní teplotou vzduchu, takže se v kouřové cestě nevytvoří dostatečný účinný komínový tah, potřebný pro odvod spalin od spotřebiče do ovzduší. Proto musíme do kouřové cesty umístit spalinový ventilátor, který spaliny odvede do ústí komínu a do ovzduší.



Přetlakové komíny a kouřovody jsou navrhovány u spotřebičů, které vytváří na spalinné cestě přetlak od přetlakových hořáků nebo spalinných ventilátorů. Komínový průduch musí být vodotěsný a opatřen zařízením na jímání kondenzátu.

Kouřová cesta včetně spalinného hrdla spotřebiče, sopouchu a kontrolních otvorů musí být v provozním stavu těsná, aby nedošlo k pronikání spalín pláštěm kouřové cesty. Kouřová cesta má být navržena tak, aby komín a kouřovod spolehlivě odváděl spaliny od připojeného spotřebiče do ovzduší, zajišťoval jímání kondenzátu a neovlivňoval zpětně provoz spotřebiče.

### **11.3 Volba materiálu komínu**

Protože odcházející teplota spalín je nízká, můžeme použít komín jednovrstvý, tj. komínový plášť tvoří komínový průduch. Při této teplotě nemusí mít komín izolaci jako u komínu s přirozeným tahem.

#### **a) ocelový komín**

#### **b) keramický komín**

#### **c) plastový komín**

Volím ocelový komín kruhového průřezu. Materiálem bude tenkostěnný plech, který musí být odolný vůči účinkům spalín a to zejména proti jejich zbytkovým kondenzátům. To můžeme zabezpečit tak, že materiálem bude nerezová ocel vyšší třídy, tedy oceli tř. 17 241, 17 246, 17 348 nebo konečnou úpravou povrchu materiálu smaltováním. Ocelový komín bude upevněn u stěny pomocí ocelových svěrek.

### **11.4 Výška komínu**

Jelikož v našem případě není přirozený tah ale umělý tak nemusí být tak vysoký komín jako u přirozeného. Výška komínu bude tedy záviset na normě ČSN 73 4201 a zvoleném ventilátoru, který musí být navržen tak, aby překonal tlakovou ztrátu celé spalinné cesty. Spaliny jsou odváděny po celé výšce přetlakem, proto volím výšku komínu 10m.

## 11.5 Tlakové ztráty kouřovodu a komínu

Tlakové ztráty v kouřovodu a v komínu se stávají z místních ztrát kouřovodů, daných jejich geometrickým uspořádáním a ze ztrát třením spalin o stěny kouřovodů a komínu.

**Tlaková ztráta v kouřovodu se stanoví z rovnice:**

$$\Delta p_{zo} = \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp}^s \cdot \left( \lambda \cdot \frac{L}{d_h} + \sum \xi_{mk} \right) \quad [Pa] \quad (41)$$

$$\Delta p_{zo} = \frac{3,99^2}{2} \cdot 1,014 \cdot \left( 0,03 \cdot \frac{3}{0,66} + 0,7 \right) = \underline{\underline{6,75 \text{ Pa}}}$$

$w_{sp}^2$       Střední rychlost spalin v kouřovodu       $[m \cdot s^{-1}]$

$\rho_{sp}^s$       Střední hustota spalin v kouřovodu       $[kg \cdot m^{-3}]$

$\lambda$       Součinitel ztrát třením spalin o stěny kouřovodů       $[-]$

(  $\lambda = 0,05$  – zděné kouřovody, zděný komín)

(  $\lambda = 0,03$  – plechové kouřovody, plechový komín)

$\xi_{mk}$       Součinitelé místních odporů v kouřovodu       $[-]$

$d_h$       Průměr kouřovodu       $[m]$

**Tlaková ztráta v komínu se stanoví z rovnice:**

$$\Delta p_{zk} = \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_{sp}^s \cdot \left( \lambda \cdot \frac{H}{d_h} + \sum \xi_{mk} \right) \quad [Pa] \quad (42)$$

$$\Delta p_{zk} = \frac{3,99^2}{2} \cdot 1,014 \cdot \left( 0,03 \cdot \frac{10}{0,66} + 0,2 \right) = \underline{\underline{5,28 \text{ Pa}}}$$

$H$       Výška komínu       $[m]$

### Teplota spalin v ústí komínu:

$$t_{2sp} = t_{1sp} - H \cdot \Delta t \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (43)$$

$$t_{2sp} = 50 - 10 \cdot 1,5 = \underline{\underline{35 \text{ } ^{\circ}\text{C}}}$$

$$t_{1sp} \quad \text{Teplota spalin v patě komínu} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$\Delta t \quad \text{Pokles teploty v kouřovodu} \quad [^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}]$$

### Střední teplota spalin v komínu:

$$t^s_{sp} = \frac{t_{1sp} + t_{2sp}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (44)$$

$$t^s_{sp} = \frac{50 + 35}{2} = \underline{\underline{42,5 \text{ } [^{\circ}\text{C}]}}$$

### Střední hustota spalin v komínu :

$$\rho^s_{sp} = \rho_{nsp} \cdot \frac{p_b}{101325} \cdot \frac{273,16}{t^s_{sp} + 273,16} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (45)$$

$$\rho^s_{sp} = 1,192 \cdot \frac{99600}{101325} \cdot \frac{273,16}{42,5 + 273,16} = \underline{\underline{1,014 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

$$\rho_{nsp} \quad \text{Hustota spalin zemního plynu} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

### **Střední rychlost spalin v komínu:**

$$w_{sp}^s = \frac{k_t \cdot V_{t=50}}{S} \cdot \frac{t_{sp}^s + 273,16}{273,16} \cdot \frac{1}{3600} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (46)$$

$$w_{sp}^s = \frac{1,2 \cdot 3626,65}{0,35} \cdot \frac{42,5 + 273,16}{273,16} \cdot \frac{1}{3600} = \underline{\underline{3,99 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

$V_{t=50}$     Množství suchých spalin odcházejících z výměníku     $[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$

$k_t$         Součinitel přisávání vzduchu do kouřovodu     $[-]$

$S$         Průřez kouřovodu     $[\text{m}^2]$

$t_{sp}^s$       Střední teplota spalin v komínu     $[\text{K}]$

## 12. Využití tepla kondenzačního výměníku

Výpočet se provede pomocí rovnice tepelné bilance, ve které bude připočten vliv kondenzačního tepla.

$$Q_v = m_{sp} \cdot c_{p_{sp}} \cdot \Delta T_{sp} + m_{H_2O} \cdot L_k \quad [W] \quad (47)$$

$$Q_v = 1,198 \cdot 1423 \cdot 50 + 0,0825 \cdot 2453500 = 287,7 [kW]$$

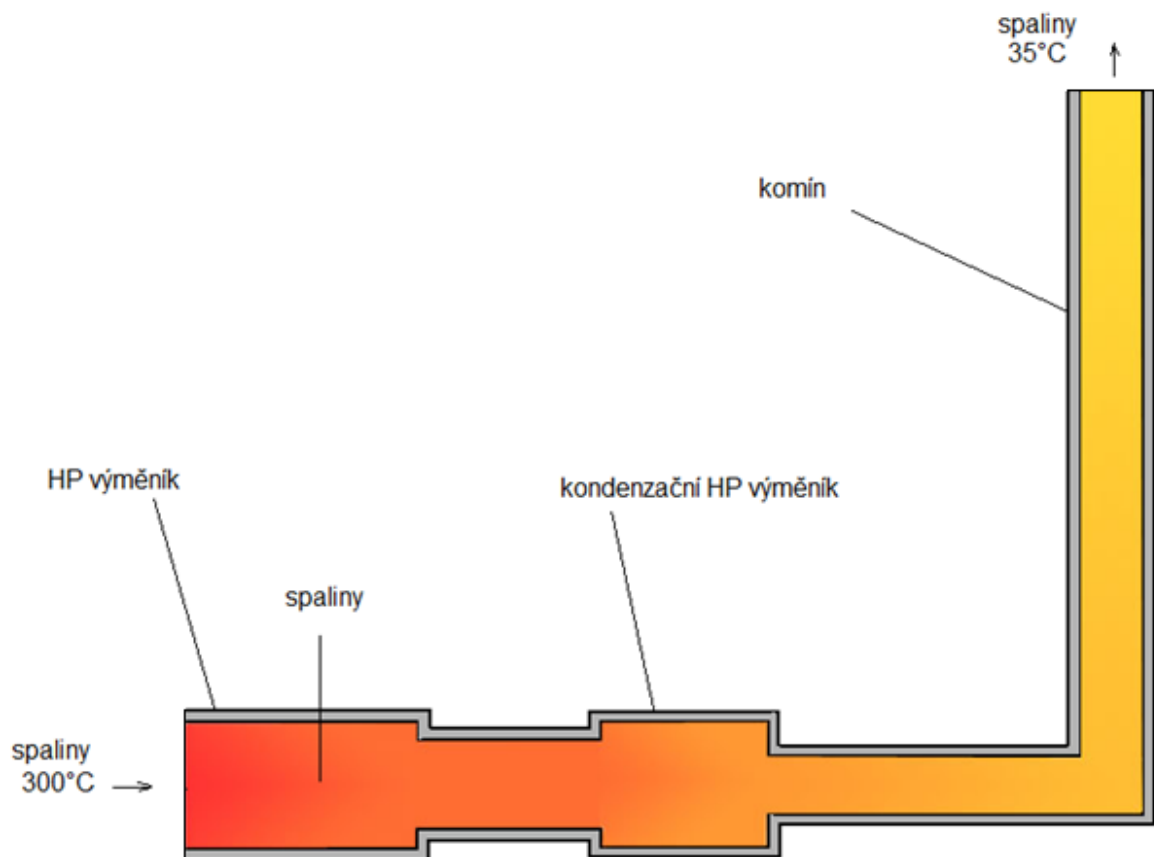
$m_{sp}$  množství suchých spalin  $[kg \cdot s^{-1}]$

$c_{p_{sp}}$  měrná tepelná kapacita suchých spalin  $[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$

$L_k$  kondenzační teplo  $[J \cdot kg^{-1}]$

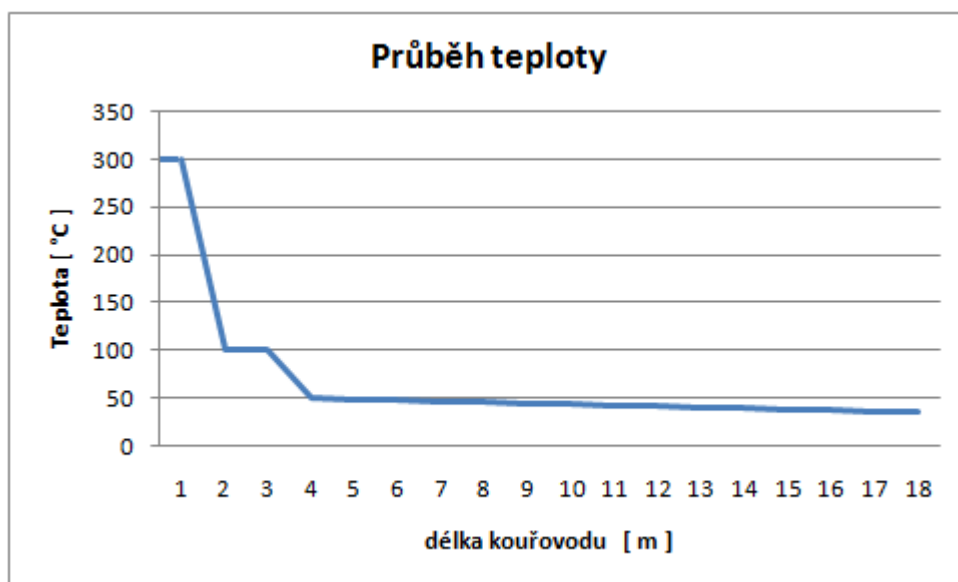
$m_{H_2O}$  Množství skondenzované vody  $[kg \cdot s^{-1}]$

$\Delta T_{sp}$  teplotní spád spalin  $[^{\circ}C]$



Obr.18 Průběh teploty spalinového traktu

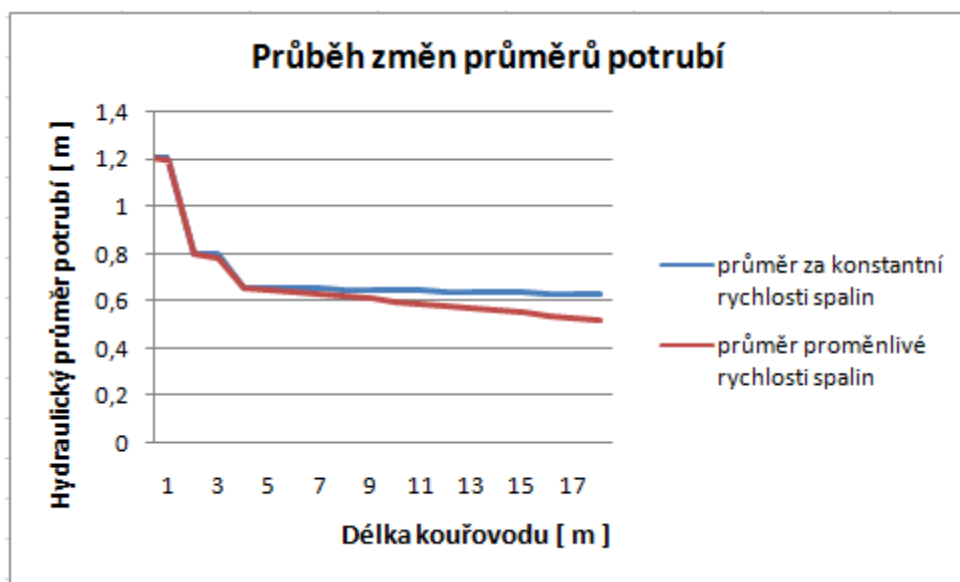
### 13. Průběh teploty a tlaku od výměníku HP po ústí komínu



Obr.19 Průběh teploty v závislosti na délce kouřovodu

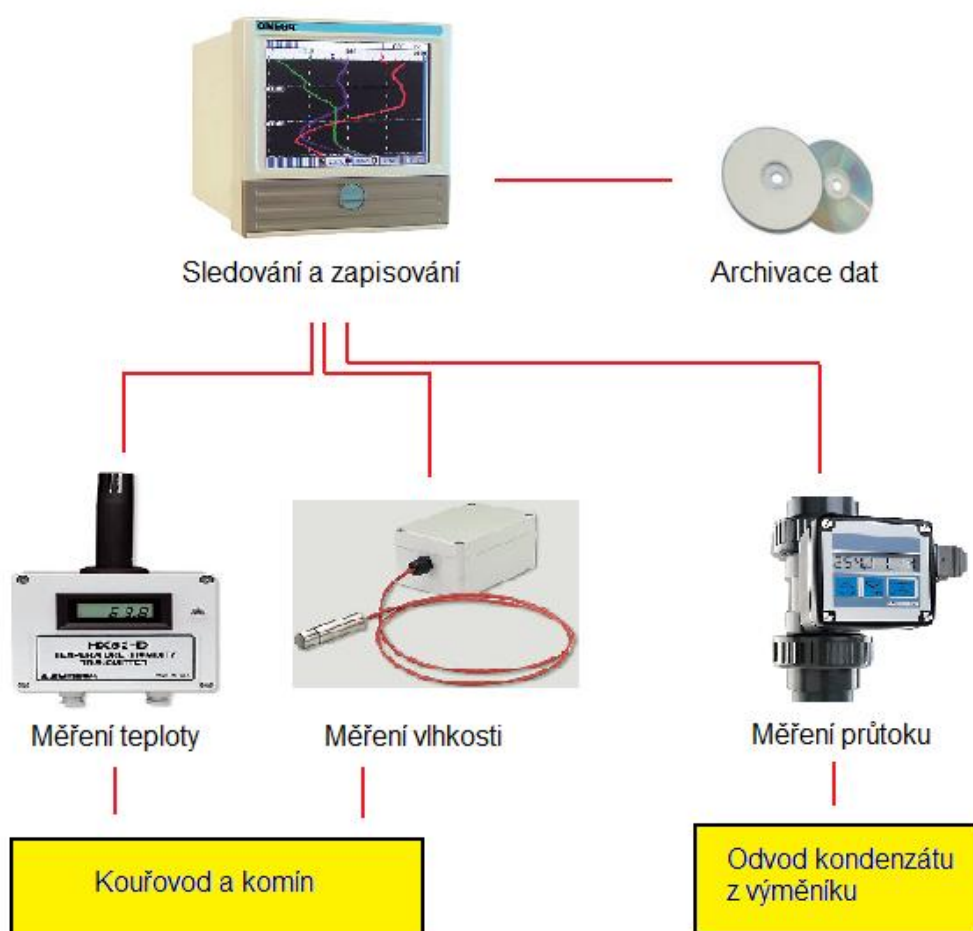


Obr.20 Průběh tlakové ztráty na délce kouřovodu



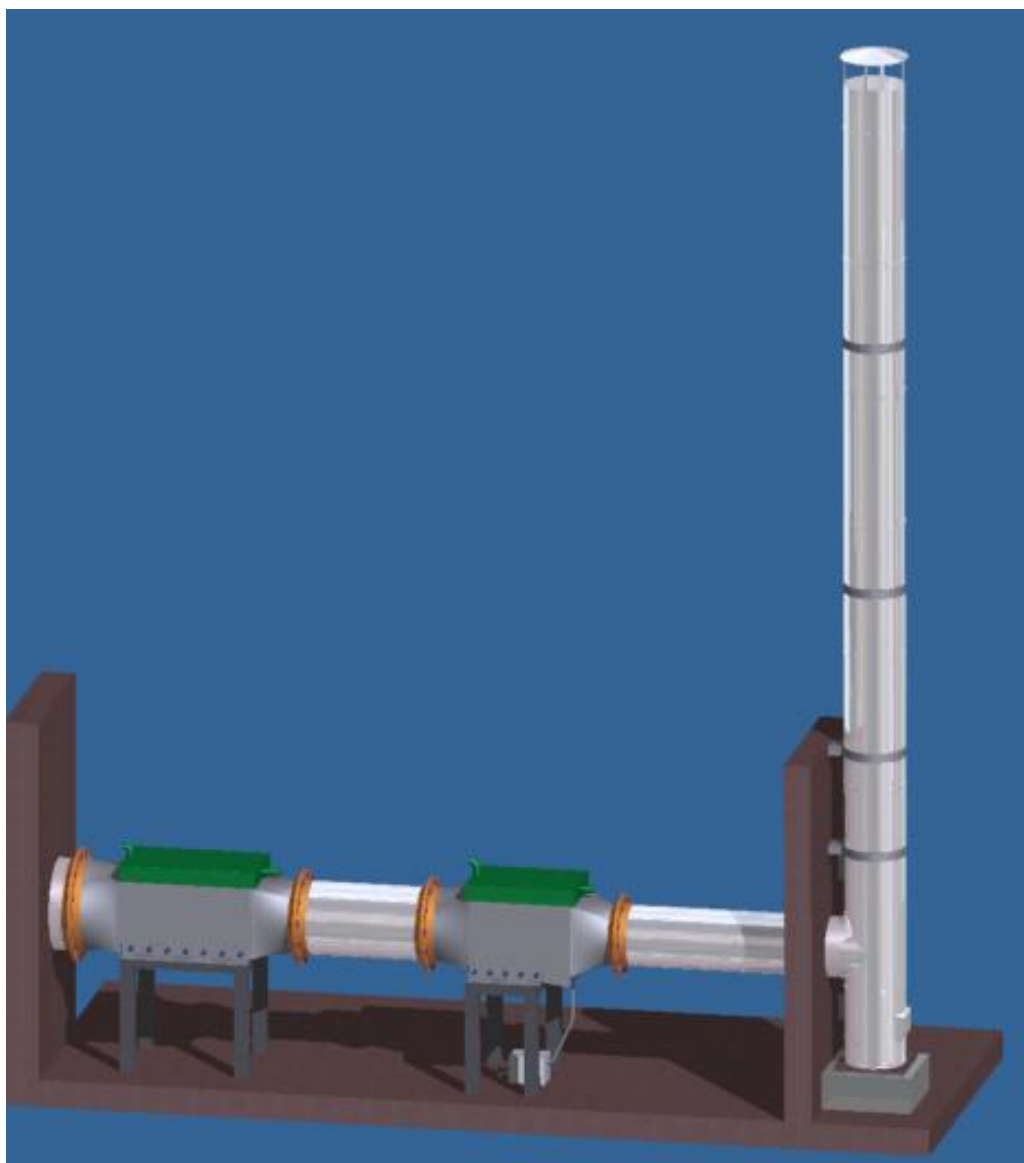
Obr.21 Průběh změn hydraulických průměrů potrubí

### 13.1 Možnost měření, řízení a archivace průběhu veličin



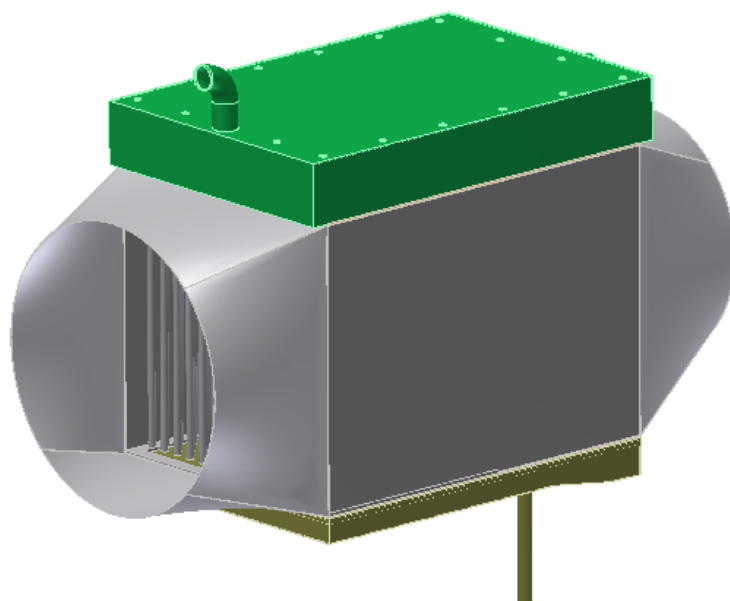
Obr.22 Schéma řídicích a měřících prvků spalínového traktu

## 14. 3D model navrhovaného zařízení

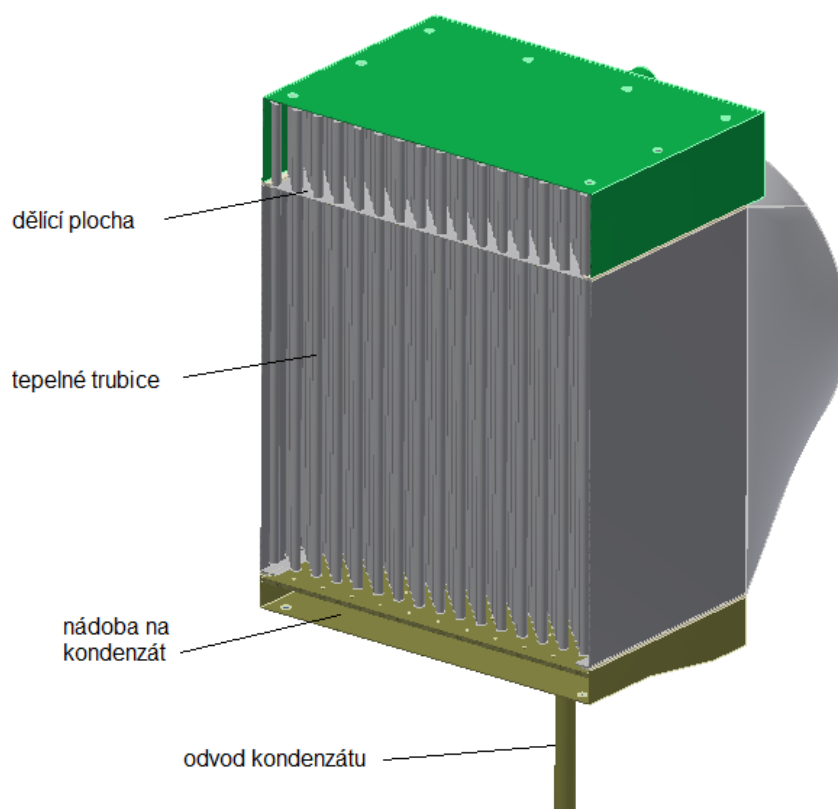


Obr.23 Obrázek inovovaného spalínového traktu





Obr.24 Kondenzační výměník



Obr.25 Řez kondenzačním výměníkem

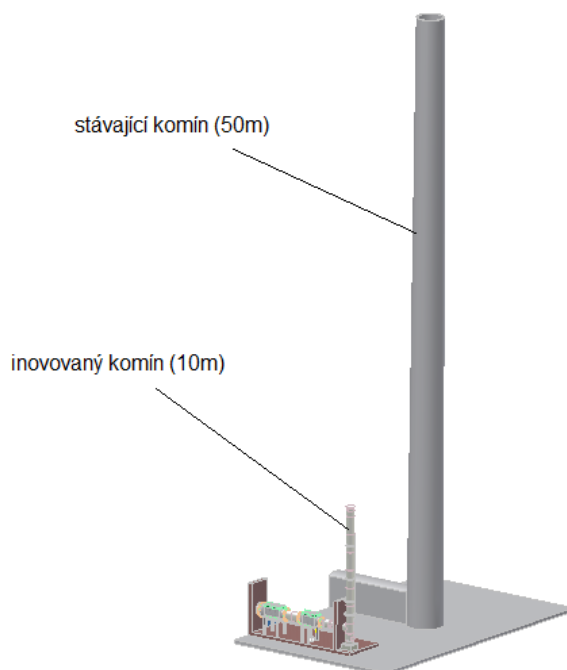
## 15. Závěr

Diplomová práce řeší současný problém nevyužitého odpadního tepla se spalin. Díky technologii heat pipe a její vysoké účinnosti i při nízkých teplotách odcházejících spalin, lze tohoto dosáhnout. Zařazení výměníku HP za klasický rekuperátor, lze dosáhnout ještě více využití zbytkového odpadního tepla a tím zvýšit energetické úspory. Tohle využití tepla se může využít například pro ohřev teplé užitkové vody nebo k vytápění budov.

Diplomová práce se zabývala řešením koncovým úsekem spalinového traktu a jeho inovací od stávajícího. Bylo provedeno spalování paliva, a příslušné výpočty pro inovační návrh. Nakonec byl vymodelován 3D model v programu Autodesk Inventor Profesional 2010 a dané výkresy.

### Výhody inovovaného řešení:

- Využití nízkopotenciálního tepla a tím zvýšení energetické úspory.
- Úspory při opravách stávajícího kouřového traktu a rekonstrukce komínu.
- Snížení emisí vypouštěných spalin do atmosféry.



Obr.26 Srovnání stávajícího a nového komína

## 16. Použité zdroje

- [ 1] FÍK, JOSEF.: *Zemní plyn*. PRAHA 2006, 355 s., ISBN 80-86028-22-4
- [ 2] RÉDR, MIROSLAV.: *Základy tepelné techniky*. OSTRAVA 1988, 253 s.
- [ 3] JELÍNEK, VLADIMÍR - JIŘÍK, FRANTIŠEK - PULKRÁBEK, MILOŠ.: *Komíny, kouřovody a odtahy spalin*. PRAHA 1997, 253 s., ISBN 80-902339-2-9
- [ 4] MIKULČÁK, J. : *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*. Praha 1988, 206s. ISBN 80-85849-84-4
- [ 5] Odvod kondenzátu, . Datum overění: 27.3.2010, Dostupné na :  
<http://ivan.valisovi.com/public/clanky/OdvodKondenz05.pdf>
- [ 6] Katalog kondenzátu, . Datum overění: 27.3.2010, Dostupné na :  
<http://www.deto.cz/katalog/08%20Neutralizacni%20box.pdf>
- [ 7] Reference firmy CASALS, . Datum overění: 12.5.2010, Dostupné na :  
<http://www.casals.cz/ventilatory-detail-24-81-ventilatory-hm.htm>
- [ 8] Komín Vítkovice, . Datum overění: 12.5.2010, Dostupné na :  
[http://obrazky.cz/detail?id=eJyVjsFqgzAAQO/5lyUmmdoMyigoWOIJ6NReRoyxpjUmjbGiX78x2G2XHR/vHR4nzC8Rno9Zk7iqcA292Jqc9wADEoBODV66Pf4mnhWBSMzzRFvaruF2qexcl8FcU/ME97Iz5Zaa48eaJVXzUjtjPR5EW46DzLbf5oUuX22l240FOoPfeviG0LAv03kCxIaX5VU7obrQa4c1e/0h%2B3Ap7rwdA4gDQiAG8%2Bw21bBXH0CoxSe5ED4XRSE3v/9liFGCyY00bR68sJIwLQeLwC42GXuw&sId=rOpHL\\_UrwZMeZ3ZvtlGt](http://obrazky.cz/detail?id=eJyVjsFqgzAAQO/5lyUmmdoMyigoWOIJ6NReRoyxpjUmjbGiX78x2G2XHR/vHR4nzC8Rno9Zk7iqcA292Jqc9wADEoBODV66Pf4mnhWBSMzzRFvaruF2qexcl8FcU/ME97Iz5Zaa48eaJVXzUjtjPR5EW46DzLbf5oUuX22l240FOoPfeviG0LAv03kCxIaX5VU7obrQa4c1e/0h%2B3Ap7rwdA4gDQiAG8%2Bw21bBXH0CoxSe5ED4XRSE3v/9liFGCyY00bR68sJIwLQeLwC42GXuw&sId=rOpHL_UrwZMeZ3ZvtlGt)
- [ 9] Rešerše HP, . Datum overění: 17.5.2010, Dostupné na :  
[http://www.google.cz/#hl=cs&source=hp&q=tepelne+trubice-cviceni&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs\\_rfai=&fp=f4836af2504e78bd](http://www.google.cz/#hl=cs&source=hp&q=tepelne+trubice-cviceni&aq=f&aqi=&aql=&oq=&gs_rfai=&fp=f4836af2504e78bd)
- [ 10] Tepelné trubice, Reference firmy Forsteel.s.r.o . Datum overění: 17.5.2010, Dostupné na : <http://www.econotherm.eu/index.html>

## **17. Seznam příloh**

[A] Výkres sestavy Spalinový trakt průmyslové pece.

Číslo výkresu: SN2KIV01 - 1

[B] Výkres sestavy Kondenzační výměník

Číslo výkresu: SN2KIV01 - 2

[C] Výrobní výkres Kondenzační nádoba

Číslo výkresu: SN2KIV01 - 3